



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO  
PARA MÁQUINA DE CORTE E SOLDA DE EMBALAGENS  
PLÁSTICAS FLEXÍVEIS**

Luciano Pólido

Lajeado, Novembro de 2019.

Luciano Pólido

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO  
PARA MÁQUINA DE CORTE E SOLDA DE EMBALAGENS  
PLÁSTICAS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro de Ciências Exatas e  
Tecnológicas da Universidade do Vale do  
Taquari - Univates, como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Controle e  
Automação.

Orientador: Prof. Me. Henrique Worm.

Lajeado, Novembro de 2019.

## **RESUMO**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo o estudo e desenvolvimento de um sistema de controle automatizado para uma máquina de corte e solda de embalagens plásticas flexíveis. A máquina de corte e solda é parte do processo de transformação na indústria de embalagens flexíveis, responsável pelo acabamento da embalagem na Plastrela Embalagens Flexíveis LTDA. A proposta deste trabalho contemplou o desenvolvimento de um software para um Controlador Lógico Programável com Interface Homem Máquina, com a finalidade de substituir o controlador atual descontinuado da máquina. Este projeto garantirá maior segurança para a empresa que, atualmente, corre o risco de ficar com a máquina parada, devido ao controlador atual estar descontinuado e sem assistência técnica. Além da atualização tecnológica proposta, foram realizadas melhorias operacionais solicitadas pelos usuários da máquina.

**Palavras-chave:** Controlador Lógico Programável. Máquina de corte e solda. Embalagens

## **ABSTRACT**

The present final paper aimed to study and develop an automated control system for a cutting and welding machine of flexible plastic packaging. The cutting and welding machine is a part of the transformation process of the flexible packaging industry, responsible for the finishing touch of the Plastreia Embalagens Flexíveis LTDA. The proposal of this study is to develop a software for the Programmable Logic Controller with a Man Machine Interface with the purpose of replacing the current discontinued controller of the machine. This project will guarantee a better security for the industry that currently has the risk of staying with the machine without employment, because the current controller was discontinued and has no technical assistance. Besides the technologic update proposed, there will be done operational improvement requested by the users of the machine.

**Keywords:** Programmable Logic Controller. Cutting and welding machine. Technological.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Embalagens “on the go” .....	11
Figura 2 - Máquina de corte e solda .....	12
Figura 3 - Sinal Analógico x Digital .....	18
Figura 4 - Exemplo de estrutura de um sensor indutivo .....	19
Figura 5 - Comportamento de um oscilador em um sensor indutivo .....	20
Figura 6 - Exemplo de sensores indutivos .....	20
Figura 7 - Diagrama esquemático de um sensor ótico e seus principais componentes .....	21
Figura 8- Diagrama esquemático de um sensor ótico retroreflexivo .....	22
Figura 9 - Diagrama esquemático de um sensor ótico por difusão .....	22
Figura 10 - Diagrama esquemático de um sensor de difração .....	23
Figura 11 - Formatos de termopares .....	26
Figura 12 - Forma esquemática do disco de um encoder .....	27
Figura 13- Forma construtiva do encoder .....	27
Figura 14- Resolução do encoder .....	28
Figura 15 - Sinais do encoder .....	28
Figura 16- Diagrama dos principais componentes de um CLP típico .....	29
Figura 17 - Exemplo de CLP modular e compacto .....	31
Figura 18 - Exemplo de código em linguagem <i>ladder</i> .....	33
Figura 19- Interface Homem Máquina (IHM) .....	35
Figura 20 - Exemplo de atuador pneumático .....	36
Figura 21 - Inversor de frequência .....	36
Figura 22 - Etapa de retificação trifásica .....	38
Figura 23 - Diagrama simplificado de etapas de um inversor de frequência .....	38
Figura 24 - Modulação PWM .....	39
Figura 25 - Exemplo de diagrama de blocos de inversor de Frequência .....	39
Figura 26 - Malha de controle do servoconversor .....	40
Figura 27 - Exemplo de um servomotor .....	41
Figura 28 - Composição básica de um servomotor de imã permanente .....	42
Figura 29 - Estrutura principal da máquina corte e solda de filme plástico .....	44
Figura 30 - Controlador SX 550C-C .....	46
Figura 31 - Tela de operação TDV 80 .....	46
Figura 32 - Esquema de entradas, saídas e cabos do controlador SX 550C-C .....	49
Figura 33 - Encoder eixo central .....	50
Figura 34 - Marca de fotocélula na embalagem e fotocélula .....	51
Figura 35 - Controladores de temperatura no painel da máquina .....	52

Figura 36 - Exemplo de rampa x sinal analógico .....	57
Figura 37 - Organograma do planejamento do trabalho.....	60
Figura 38 - Topologia da montagem do CLP .....	61
Figura 39 - Funções e posição angular do eixo central .....	62
Figura 40 - Conjunto tração e selagem da máquina de corte solda de plástico .....	63
Figura 41 - Parte do código do cálculo da puxada .....	66
Figura 42 - Representação da janela de atuação da fotocélula .....	67
Figura 43 - Parte do código de acionamento do ar de guia .....	69
Figura 44 - Acessório ar de guia.....	70
Figura 45 - Acessório furador.....	71
Figura 46 - Parte do código do furador.....	72
Figura 47 - Parte do código do pingo de solda .....	73
Figura 48 - Acessório pingo de solda .....	74
Figura 49 - Parte do código do contador .....	75
Figura 50 - Parte do código do acionamento do motor principal .....	76
Figura 51 - Parte do código de acionamento da esteira .....	77
Figura 52 - IHM ktp 700 <i>basic</i> Siemens .....	78
Figura 53 - Tela de operação e suas variações .....	79
Figura 54 - Tela de acionamento antigo de modo manual .....	80
Figura 55 - Novo acionamento modo manual com <i>joystick</i> .....	81
Figura 56 - Tela de acessórios .....	81
Figura 57 - Tela de ajustes de produção .....	82
Figura 58 - Controladores de temperatura antes e depois .....	84
Figura 59 - Tela de alarmes .....	85
Figura 60 - Tela de diagnósticos .....	86
Figura 61 - Tela de manutenção antes .....	87
Figura 62 - Tela de manutenção depois.....	87
Figura 63 - Teste da rampa da puxada.....	88
Figura 64 - Gráfico de medição de puxadas sem fotocélula.....	89
Figura 65 - Gráfico de medição de puxada com fotocélula.....	90
Figura 66 - Gráfico de medição de puxada com fotocélula.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de termopares e suas temperaturas .....	24
Tabela 2 - Tipos de fios de compensação.....	25
Tabela 3 - Entradas digitais do CNC .....	47
Tabela 4 - Saídas digitais do CNC .....	47
Tabela 5 - Entradas analógicas do CNC.....	48
Tabela 6 - Saídas analógicas do CNC .....	48
Tabela 7 - Previsão de entradas e saídas, analógicas e digitais .....	55
Tabela 8 - Configuração novo sistema de automação .....	55
Tabela 9 - Tabela de custos de investimento.....	93
Tabela 10 - Tabela de avaliação do novo sistema de automação .....	95

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIEF	Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis
ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
BOPP	Polipropileno biorientado
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> ou Controle Numérico Computadorizado
CPM	Cortes por minuto
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
Hz	Hertz
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> ou Transistor Bipolar de Porta Isolada
IHM	Interface Homem Máquina
IL	<i>Instruction List</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
PA	Poliamida
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Tereftalato de polietileno
PID	Proporcional integral derivativo
PP	Polipropileno
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
ST	<i>Structured Text</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Objetivos Gerais .....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 Justificativa .....	13
1.3 Delimitações .....	13
 <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Plástico .....	15
2.2 Automação de processo .....	17
2.3 Sensores .....	17
2.3.1 Sensor indutivo .....	18
2.3.2 Sensores óticos .....	21
2.3.3 Sensor de temperatura tipo termopar .....	23
2.3.4 Encoder.....	26
2.4 CLP – Controlador Lógico Programável .....	29
2.4.1 Linguagem de Programação (IEC 61131 -3).....	31
2.4.1.1 Linguagem <i>Ladder</i> .....	32
2.5 Interface homem máquina.....	34
2.6 Atuadores .....	35
2.7 Inversor de frequência .....	36
2.8 Servomotor de ímã permanente .....	40
 <b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>43</b>
3.1 Funcionamento e mecânica do sistema atual .....	44
3.2 CLP e IHM do sistema atual .....	45
3.3 Funcionamento operacional .....	51
3.4 Sistema de Automação Proposto .....	53
3.5 Lógica de controle proposta.....	56
3.6 Sistema de segurança .....	58
 <b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1 Cronograma de Projeto.....	59
4.2 Controlador lógico programável (CLP) .....	60
4.3 Programação do CLP .....	61
4.3.1 Puxada do servomotor .....	64

4.3.2 Controle por Fotocélula .....	67
4.3.3 Ar de guia .....	68
4.3.4 Acessório Furador .....	70
4.3.5 Acessório pingo de solda .....	72
4.3.6 Contador.....	74
4.3.7 Acionamento motor principal.....	75
4.3.8 Acionamento da esteira .....	77
4.4 Interface homem máquina (IHM).....	78
4.4.1 Tela de operação .....	79
4.4.2 Tela de acessórios .....	81
4.4.3 Tela de ajustes de produção.....	82
4.4.4 Tela de ajustes de temperatura .....	83
4.4.5 Tela de alarmes .....	84
4.4.6 Tela de Diagnóstico.....	85
4.4.7 Tela de manutenção.....	86
4.5 Teste .....	88
4.5.1 Testes preliminares.....	88
4.5.2 Teste puxada sem fotocélula .....	89
4.5.3 Testes com fotocélula.....	90
4.5.4 Teste de temperatura.....	91
4.5.5 Ajustes finais .....	91
4.6 Sistema de segurança .....	92
4.7 Investimento .....	92
 5 CONCLUSÃO.....	 94
 REFERÊNCIAS .....	 96
 APÊNDICE A - Formulário de pesquisa de melhoria do sistema de automação.....	 101

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil, assim como o Estado do Rio Grande do Sul, tem uma acirrada concorrência no ramo de embalagens plásticas flexíveis, por se tratar de estruturas peculiares no processo de transformação, desde o início até o final do processo.

Diante do cenário global, onde o crescimento da economia em 2017 girou em torno de 3,4%, percebeu-se o desempenho do mercado de embalagens plásticas flexíveis, que teve crescimento na ordem de 4% (ABRE, 2018).

Um dos quesitos que movem a indústria de transformação do plástico é o crescente incentivo à melhoria contínua dentro da indústria, em especial de embalagens flexíveis, como as tendências e inovações que chegam ao consumidor final, no que diz respeito a formatos, praticidade, economia e agilidade ao consumidor.

Cada vez mais o público procura produtos embalados de forma prática, econômica, ágil, como por exemplo, a tendência da embalagem “*on the go*” que compreende, embalagens para produtos que podem ser consumidos em movimento, para diversos segmentos, como pode ser observado na Figura 1 (ABIEF, 2018).

Figural -Embalagens “on the go”



Fonte: Izes (2018).

As tendências e exigências do público consumidor influenciam diretamente na indústria de embalagens flexíveis, desafiando-a quanto a melhoria no desenvolvimento das embalagens, através da busca contínua por inovação, tecnologia e criatividade.

Neste cenário, encontra-se a Plastrela Indústria e Comércio de Embalagens Plásticas Flexíveis, que atua na área de diversos segmentos de embalagens flexíveis como *Pet Food*, higiênicos, grãos, farinhas, cereais, condimentos, embutidos, etc.

A última etapa do processo de fabricação de embalagens plásticas na Plastrela consiste no acabamento do produto, sendo fundamental para assegurar a formação de uma embalagem com resistência na selagem e acabamento. Este processo é realizado pela máquina de corte e solda de embalagens plásticas apresentada na Figura 2.



Figura 2 - Máquina de corte e solda



Fonte: Hece máquinas (2016).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Objetivo Geral é a atualização tecnológica da máquina, através do emprego de um equipamento mais moderno.

O trabalho consiste em substituir o hardware dedicado atual por um de uso comercial, disponível para compra no mercado. Além da substituição, foi proposto o desenvolvimento do código do programa,

Isso devido ao fato do atual Controlador estar descontinuado, restringindo as possibilidades de melhoria em virtude da obsolescência da tecnologia empregada, bem como dificultando a obtenção de assistência técnica. Em virtude dos fatos mencionados, este trabalho propõe a substituição do Controlador Lógico Programável existente por um modelo atual, permitindo assim reescrever a lógica de comando e incluir uma série de recursos demandados pelos usuários desta máquina.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

A atualização tecnológica da máquina vai disponibilizar mais recursos e funções ao operador, aprimorar a visualização com mais qualidade e quantidade de informações e eventos, para facilitar a operação e controle com a tela colorida e sensível ao toque.

Também instalar uma Interface Homem Máquina que vai permitir supervisionar e parametrizar a máquina de uma forma mais objetiva, seguindo a demanda dos operadores que conhecem o processo e utilizam esta máquina há anos.

Também aproveitar a oportunidade para implementar recursos de segurança a integridade do operador como, intertravamento e monitoramento de portas de acesso a partes móveis da máquina, restringir acesso a partes energizadas da máquina, também sistema de *reset* conforme norma regulamentadora 12 (NR12).

## **1.2 Justificativa**

O desenvolvimento desta automação irá substituir o controlador atual descontinuado da máquina, além de ter um custo menor em relação a fornecimento de “upgrade” oferecido pelo fabricante da máquina. Também vale salientar que a empresa se torna independente de assistência técnica com automação própria, contando com a agilidade de manutenção por conter o domínio da sua própria automação.

A partir da intervenção proposta, busca-se maior facilidade, eficiência e precisão na realização desta tarefa.

## **1.3 Delimitações**

Este trabalho está delimitado a substituição do controlador lógico programável atual descontinuado e substituição da interface homem máquina por um controlador lógico programável atualizado no mercado de fácil acesso comercial, utilizado nos mais diversos segmentos, tanto na indústria, como, comércio, automobilísticos, residencial e outros.

A delimitação também compreende a programação do controlador lógico programável e da interface homem máquina, periféricos necessários, interfaces e fusíveis para proteção de entradas e saídas do controlador.

Também contará com ajustes operacionais e treinamento, que podem ser pertinentes, devido a mudanças no layout da interface homem máquina.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em capítulos. No capítulo dois deste documento está o referencial teórico embasando os equipamentos empregados no projeto. No capítulo três apresenta as condições atuais, a proposta do trabalho deste documento, e o princípio de funcionamento proposto para o desenvolvimento. No capítulo quatro os resultados obtidos com a instalação do citado trabalho. Finalizando com o capítulo cinco as conclusões e sugestões futuras de continuidade deste trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para a realização deste trabalho, faz-se necessário o entendimento do plástico, por se tratar da matéria prima a ser processada, bem como do processo de corte e solda do mesmo e dos componentes necessários a para automação do processo. Com base nisso, buscou-se referencial acerca de Controladores Lógicos Programáveis, Interfaces Homem Máquina, bem como os sensores e atuadores que serão controlados a partir da lógica a ser elaborada.

### **2.1 Plástico**

O plástico é um material de origem natural ou sintética, derivado do petróleo ou de fontes renováveis como o milho e a cana-de-açúcar.

Segundo a Simplás (2019), o plástico vem ganhando destaque, no decorrer das últimas décadas, como indispensável para a sociedade contemporânea. Na saúde, o plástico vem marcando presença em hospitais com produtos de avançada tecnologia, além disso, acessíveis e seguros. Basta observar um centro cirúrgico e se ver seringas, bolsas de sangue e soro, etc...

Conforme a Simplás (2019), o Brasil conta com aproximadamente 12 mil empresas de transformação de plástico de pequeno, médio e grande porte, suscitando mais de 300 mil empregos diretos. Ainda afirma, que o Brasil tem potencialidade para avançar em desenvolvimentos de novas aplicações, como produtos de maior valor agregado que atende as necessidades globais.

Os materiais plásticos, vêm substituindo os mais diversos tipos de matérias como o aço, o vidro, e a madeira durante o longo dos anos, isso devido às suas características de

menor peso, menor custo, maior resistência mecânica e química, facilidade de aditivação e além disso por serem 100% recicláveis (SINDIPLAST, 2019).

Dentre os diferentes tipos de plásticos, está o termoplástico, que é o objeto a ser transformado no processo realizado pelo equipamento de corte e solda. O termoplástico pode ser reprocessado diversas vezes, para qualquer formato desejado, através do processo de temperatura e pressão por ser um polímero orgânico de peso molecular elevado, ou ainda de compostos orgânicos naturais (COUTINHO, 2003).

Segundo Alves et al. (1998), são as características químicas e físicas dos polímeros que denominam as suas aplicações e suas propriedades, as quais devem ser arrançadas conforme a necessidade do produto final. Em alguns casos é necessário adequar o polímero através de adições químicas, ou físicas para obter as características desejadas. As características estão diretamente ligadas à natureza dos monômeros pelo peso molecular das cadeias, pela estrutura, grau de cristalinidade e pelo nível de afinidade entre as cadeias do polímero.

Nas últimas décadas, o grande avanço tecnológico no universo das embalagens plásticas resultou no surgimento de polímeros com características diferenciadas, como propriedades de barreiras para diferentes meios, resistências a temperaturas mais elevadas, características de soldabilidade, neutralidades, permeabilidade a gases, culminando em plásticos com desempenhos diferenciados, além de baixo custo. Essas características vêm de encontro com as exigências dos consumidores que procuram maior segurança, qualidade e praticidade nos alimentos embalados (ALVES et al., 1998).

Para atender as características de acondicionamento, resistência a temperatura, permeabilidade de gases, umidade, gorduras, é necessário a utilização do polímero adequado a fim de garantir as características de conservação do produto embalado.

Os principais polímeros são:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Tereftalato de polietileno (PET);
- Polipropileno (PP);
- Polipropileno bi orientado (BOPP);
- Poliamida (PA) (ALVES et al., 1998).

## 2.2 Automação de processo

Conforme Sacomano (2018), automação de processo é toda a tarefa realizada sem a necessidade de intervenção humana, com equipamento que tem capacidade de se controlar autonomamente, a partir de condições preestabelecidas.

De acordo com Rosário (2005), a automação industrial pode ser vista como um avanço tecnológico integrador de três áreas, a mecânica na forma de dispositivos mecânicos (atuadores), a eletrônica responsável pelo *hardware* e a informática responsável pelo *software* que irá controlar todo o sistema. Desse modo, para que projetos sejam efetivos nesta área necessita-se um grande escopo de conhecimentos, estabelecendo uma formação muito diversificada e ampla dos projetistas, ou então um trabalho de equipe muito bem elaborado e coordenado com perfis interdisciplinares.

## 2.3 Sensores

Os sensores são os componentes que podem integrar uma planta de automação e são responsáveis pela realimentação do sistema de controle. Segundo Fraden (2004), Thomazini e Albuquerque (2007) e Pires (2007), um sensor é um dispositivo que recebe um estímulo ou sinal e o transforma em um sinal elétrico que seja compatível com circuitos eletrônicos. O sinal de entrada pode ser de uma quantidade, um estado ou uma propriedade, a qual o sensor transforma em corrente ou tensão, podendo ser modificada e amplificada por circuitos eletrônicos que recebem o sinal.

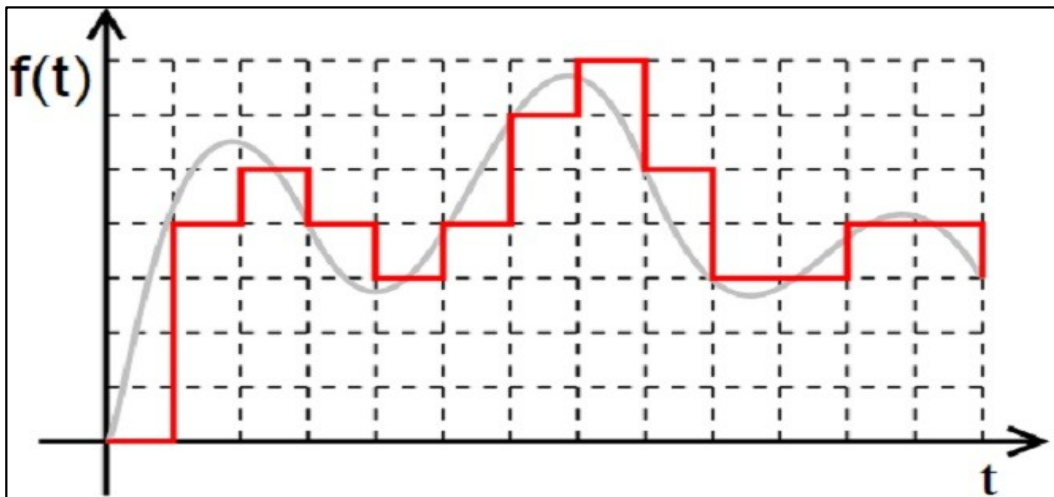
Alguns autores descrevem diferentes significados para termos sensores e transdutores. Segundo Skoog et al. (2002), um sensor é um transdutor embutido em uma face de reconhecimento quimicamente seletiva (eletrodos de íons seletivos, eletrodos de pH, oxímetros, optrodos, além de outros). Levando em conta este inconveniente conceitual, os termos sensores e transdutores neste trabalho serão tratados com o mesmo significado.

Ainda, de acordo com Thomazini e Albuquerque (2007), os sensores podem ser classificados em analógicos e digitais. Os sensores digitais fornecem sinais que podem assumir somente dois valores, que podem ser chamados de sinal alto ou baixo, interpretados como, ligado e desligado. Cita Franchi (2011), que sensores deste tipo são capazes de mensurar se uma grandeza física atingiu um valor programado.

Os sensores analógicos leem, interpretam e disponibilizam através das saídas analógicas, grandezas físicas que variam os valores ao longo do tempo, como exemplo: variação de vazão, força, temperatura, pressão, distância, velocidade, torque e luminosidade. Isso os diferencia de um sensor digital, pois a grandeza analógica não varia o valor instantaneamente.

A Figura 3 apresenta um comparativo entre sinal digital (vermelho) e analógico (cinza), com intuito de auxiliar no entendimento da teoria.

Figura 3 - Sinal Analógico x Digital



Fonte: Techtudo (2014).

Conforme a Figura 3, o sinal analógico, representado na cor cinza, varia o tempo todo no período. Já o sinal digital representado na cor vermelha, possui sua variação em degraus, com valores descontínuos, no tempo e na amplitude, ou seja, é um sinal discreto.

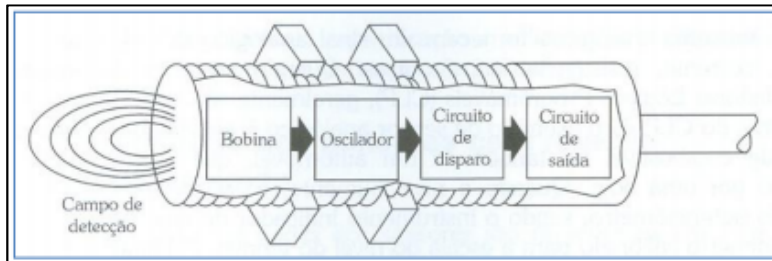
Para contemplar a automação proposta neste trabalho, devem-se elucidar os conceitos acerca dos tipos de sensores que serão utilizados, conforme as seções a seguir.

### 2.3.1 Sensor indutivo

O funcionamento de um sensor indutivo opera baseado no princípio da variação da indutância de uma bobina, quando um elemento condutivo ou metálico passa nas suas proximidades. Os sensores indutivos podem ser utilizados para detectar a presença ou proximidade de um objeto metálico e são encontrados em diversos formatos e tamanhos,

atendendo aos mais diversos processos (FRANCHI, 2011). Para compreender melhor o funcionamento de um sensor indutivo, a estrutura do mesmo é demonstrada na Figura 4.

Figura 4 - Exemplo de estrutura de um sensor indutivo



Fonte: Franchi (2009).

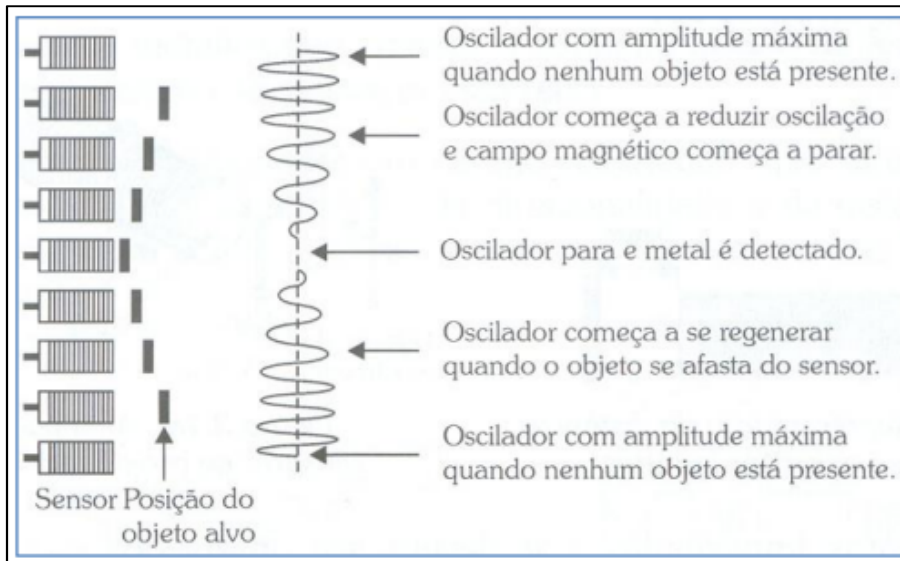
Conforme a Figura 4, na face esquerda dentro do sensor, está uma bobina que faz parte de um circuito sintonizador de um oscilador. Quando o oscilador está em funcionamento, há um campo magnético alternado, chamado campo do sensor, produzido pela bobina. Esse campo magnético é irradiado através da face do sensor, a qual não possui partes metálicas. O circuito do oscilador é ajustado de forma que, quando elementos não metálicos estiverem nas proximidades do mesmo, o circuito continua oscilando e a saída do sensor mantém-se desligada (nível baixo).

Entretanto, no momento em que um objeto metálico aproxima-se da face do sensor, o campo magnético é alterado e induz a circulação de correntes parasitas no material. Para o oscilador, essas correntes são responsáveis pelas perdas de energia, sendo que à medida que o objeto alvo se aproxima, maiores são as correntes induzidas. Com isso, a amplitude de saída do oscilador diminui até um limite pré-determinado, onde a saída do sensor será acionada. (FRANCHI, 2011; COOMBS, 2000).

A Figura 5 demonstra o comportamento do oscilador, conforme a aproximação de um objeto metálico.



Figura 5 - Comportamento de um oscilador em um sensor indutivo



Fonte: Franchi (2009).

Complementa ainda Franchi (2011), sobre a distância de detecção de um sensor indutivo de proximidade é diretamente proporcional ao diâmetro da bobina do sensor. Para pequenos diâmetros, aproximadamente ( $\frac{1}{4}$ " ) possuem distância sensora próxima de 1 mm, já sensores com grandes diâmetros (aproximadamente 3") possuem distância sensora na ordem de 50 mm ou maior. A Figura 6 mostra alguns modelos de sensor indutivos.

Figura 6 - Exemplo de sensores indutivos



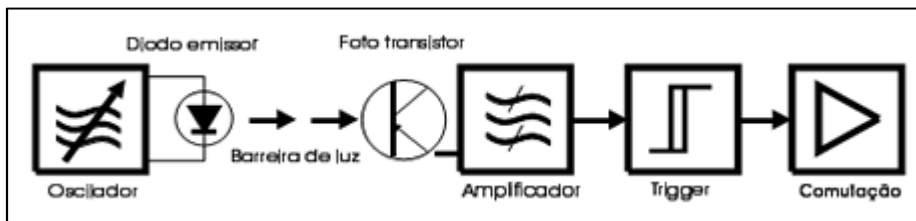
Fonte: Balluff (2018).

As medidas de deslocamento, proximidade e posição de objetos são de grande importância em muitas aplicações, tais como: controle de processo, atuação e posicionamento de válvula, controle de máquina e segurança. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007).

### 2.3.2 Sensores óticos

O princípio de funcionamento baseia-se na interação entre um transmissor de luz e um receptor. O sinal de luz emitido pelo diodo emissor deve sensibilizar o receptor (foto transistor) com intensidade suficiente para que se comutem os contatos. Para evitar interferências de outras fontes de luminosidade, os emissores são acionados a uma frequência conhecida pelo analisador incorporado no receptor e, assim, o mesmo comanda o estágio de saída (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007). Na Figura 7 está representado o fluxo citado.

Figura 7 - Diagrama esquemático de um sensor ótico e seus principais componentes



Fonte: Mecaweb (2019).

Para Fuentes (2005), os sensores fotoelétricos, também são conhecidos como sensores ópticos. Estes manipulam a luz de maneira a detectar a presença do acionador, que normalmente nas aplicações é o próprio produto. Seu princípio de funcionamento é baseado na recepção e transmissão de luz infravermelha, qual não é visível ao olho humano, podendo ser refletida ou interrompida por um anteparo ou objeto a ser detectado.

Os sensores fotoelétricos têm sua composição básica formada por dois circuitos: um responsável pela recepção do feixe de luz, denominado receptor e outro responsável pela emissão do feixe de luz, denominado transmissor.

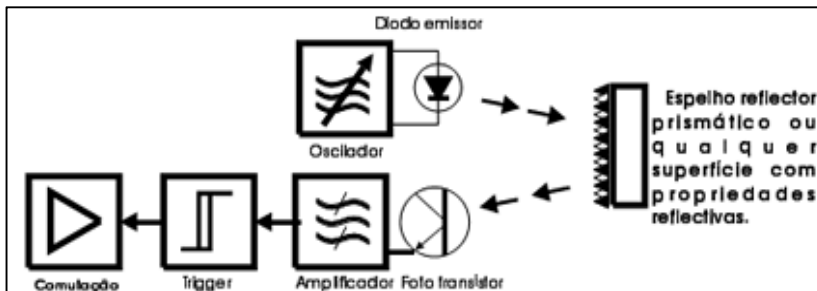
Para impedir que o receptor confunda a luz emitida pelo transmissor coma iluminação ambiente o transmissor envia o feixe de luz através de um LED, que emite flashes, com alta potência e curta duração.

Para que o receptor compreenda somente a luz vinda do transmissor, o receptor é composto por um fototransistor sensível à luz que, em conjunto com um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação dos flashes do transmissor.

As diferentes formas construtivas desse sensor possibilitam a sua utilização nas seguintes configurações:

- a) **Retroreflexão:** O emissor e receptor estão montados em um mesmo invólucro. O feixe luminoso é estabelecido entre ambos por intermédio de um refletor, como apresenta a Figura 8. Este sensor é ativado quando um objeto interrompe o feixe de luz. Este tipo de sensor não é aconselhado para a detecção de objetos claros, transparentes ou brilhantes, pois acabam refletindo o feixe com muita intensidade, da mesma forma que o elemento refletor.

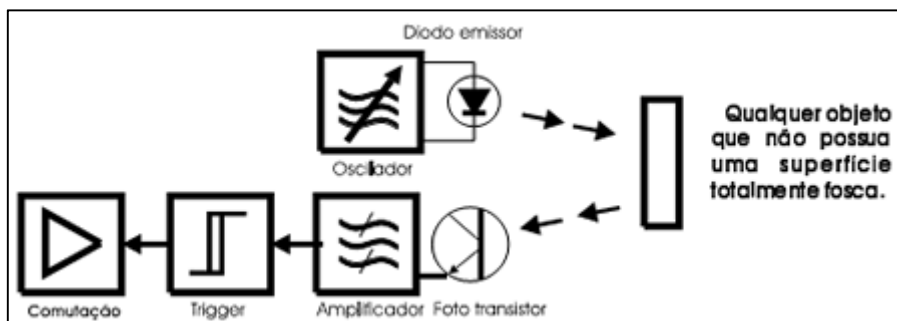
Figura 8- Diagrama esquemático de um sensor ótico retroreflexivo



Fonte: Mecaweb (2019).

- b) **Difuso:** Nesta forma de utilização, o emissor e o receptor também são montados no mesmo corpo, porém a luz é refletida de forma difusa pelo próprio objeto passante. A luz emitida pelo emissor cria uma região em que, se houver a presença de algum objeto, o mesmo reflete o feixe luminoso em direção ao receptor. A Figura 9 apresenta o princípio de funcionamento de um sensor difuso.

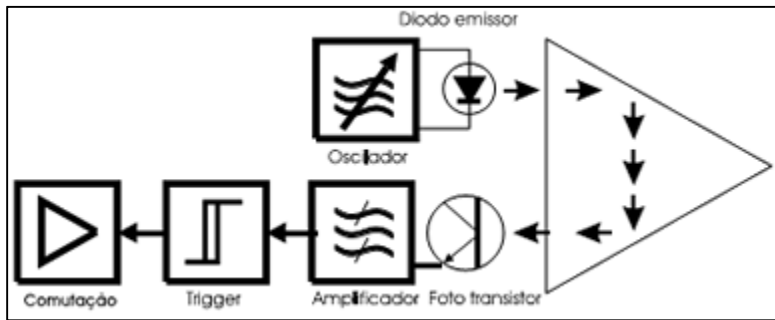
Figura 9 - Diagrama esquemático de um sensor ótico por difusão



Fonte: Mecaweb (2019).

- c) Difração: No sensor por difração os elementos de emissão e recepção infravermelho estão montados justapostos, o feixe de luz direcionado para um prisma retorna ao receptor. Deste modo, os raios infravermelhos se dispersam, então a trajetória do feixe desvia, resultando em uma comutação eletrônica conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Diagrama esquemático de um sensor de difração



Fonte: Mecaweb (2019).

### 2.3.3 Sensor de temperatura tipo termopar

Termopar é um tipo de sensor de temperatura que consiste em dois fios de metais diferentes ligados em dois pontos. A tensão variável entre estes dois pontos reflete mudanças proporcionais na temperatura. Os termopares são não-lineares, necessitando de conversão quando usados para controle de temperatura e compensação, normalmente realizados usando uma tabela de consulta, de acordo com a Tabela 1.

A precisão dos termopares é baixa, de 0,5 a 5 ° C. No entanto, eles operam em toda a faixa de temperatura mais ampla, de -200 a 1750 ° C (BEGA, 2010).

Tabela 1 - Tipos de termopares e suas temperaturas

Tipo	Composição	Range	Características
<b>T</b>	Cobre/Cobre - Níquel (+) / (-)	200 a 370°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Adequados para Mediações abaixo de zero grau. Apresenta boa precisão na sua faixa de utilização.
<b>J</b>	Ferro/Cobre - Níquel (+) / (-)	-40 a 760°C	Utilizados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Não deve ser usados em atmosfera sulfurosas e não se recomenda o uso em temperatura abaixo de zero grau. Apresenta baixo custo.
<b>E</b>	Níquel-Cromo/Cromo - Níquel (+) / (-)	-200 a 870°C	Próprio para atmosfera oxidante e inertes. Em ambientes redutores ou vácuo perde suas características termoeletricas. Adequado para uso em temperatura abaixo de zero.
<b>K</b>	Níquel-cromo/Níquel - alumínio (+) / (-)	-200 a 1260°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Ocasionalmente pode ser usado abaixo de zero grau. Não deve ser utilizado em atmosfera redutoras e sulfuradas. Seu uso no vácuo é por curto período de tempo
<b>S</b>	Platina-10% Ródio/Platina (+) / (-)	0 a 1600°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Não deve ser usado abaixo de zero grau, no vácuo em atmosfera redutoras ou com vapores metálicos. Apresenta boa precisão em temperaturas elevadas
<b>R</b>	Platina-13% Ródio/Platina	0 a 1600°C	
<b>B</b>	Platina-30% Ródio/ Platina-6% Ródio (+) / (-)	600 a 1700°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Não deve ser usado abaixo de zero grau, no vácuo em atmosfera redutoras ou com vapores metálicos. É mais adequado a temperaturas mais elevadas que os tipos S/R
<b>N</b>	Níquel-Cromo-Silício (+) Níquel-Silício (-)	-200 a 1260°C	Excelente resistência a oxidação até 1200°C, curva FEMxTemp, similar ao tipo K, porém possui menor potência termoeletrica, apresenta maior estabilidade e menor drift tempo

Fonte: CR Resistências (2010).

Os seguintes critérios são usados na seleção de um termopar: faixa de temperatura; resistência química do material do termopar ou bainha; resistência à abrasão e vibração; requisitos de instalação (pode ser necessário ser compatível com o equipamento existente, os furos existentes podem determinar o diâmetro da sonda) (ROSÁRIO, 2009).























Enquanto um tipo de fio de termopar é descrito por sua composição química, o objetivo atual é produzir um par de fios que segue uma curva padronizada. As impurezas afetam cada lote de metal de forma diferente, produzindo coeficientes variáveis. Para combinar o comportamento padrão, os fabricantes de fios de termopar criam ligas otimizadas. Como resultado, existem classes padrão e especializadas de fio de termopar, dependendo do nível de precisão exigido no comportamento do termopar (DUNN, 2013).

Um caso especial de fio de termopar é conhecido como cabo de compensação, projetado para transportar o circuito termoeletrico em uma distância maior. Os fios de compensação seguem a curva padronizada, mas por várias razões, não foram projetados para

serem usados em ambientes extremos e, portanto, não podem ser usadas na junção sensora em algumas aplicações. Com os termopares caros de metal nobre, os cabos de compensação podem até ser feitos de um material completamente diferente e mais barato que imita o tipo padrão em uma faixa de temperatura reduzida (BEGA, 2010).

Na Tabela 2 podem ser observados os tipos e características dos fios de compensação.

Tabela 2 - Tipos de fios de compensação

TC	CONDUTORES		ANSI	DIN 43710	IEC 584-3
	+	-			
<b>J</b>	FERRO Fe (magnético)	CONSTANTAN Cu-Ni			
<b>K</b>	CROMEL Ni-Cr	ALUMEL Ni-Al (magnético)			
<b>T</b>	COBRE Cu	CONSTANTAN Cu-Ni			
<b>E</b>	CROMEL Ni-Cr	CONSTANTAN Cu-Ni			
<b>N</b>	NICROSIL Ni-Cr-Si	NISIL Ni-Si-Mg		CÓDIGO ANSI	
<b>R</b>	PLATINA- RHODIO Pt-13% Rh	PLATINA Pt			
<b>S</b>	PLATINA- RHODIO Pt-10% Rh	PLATINA Pt			
<b>B</b>	PLATINA- RHODIO Pt-30% Rh	PLATINA- RHODIO Pt-6% Rh			

Fonte: Comp-controles (2017).

Os fios que compõem o termopar devem ser isolados uns dos outros em todos os lugares, exceto na junção sensora. Qualquer contato elétrico adicional entre os fios ou contato de um fio para outros objetos condutores, pode modificar a tensão e dar uma falsa leitura de temperatura (DUNN, 2013).

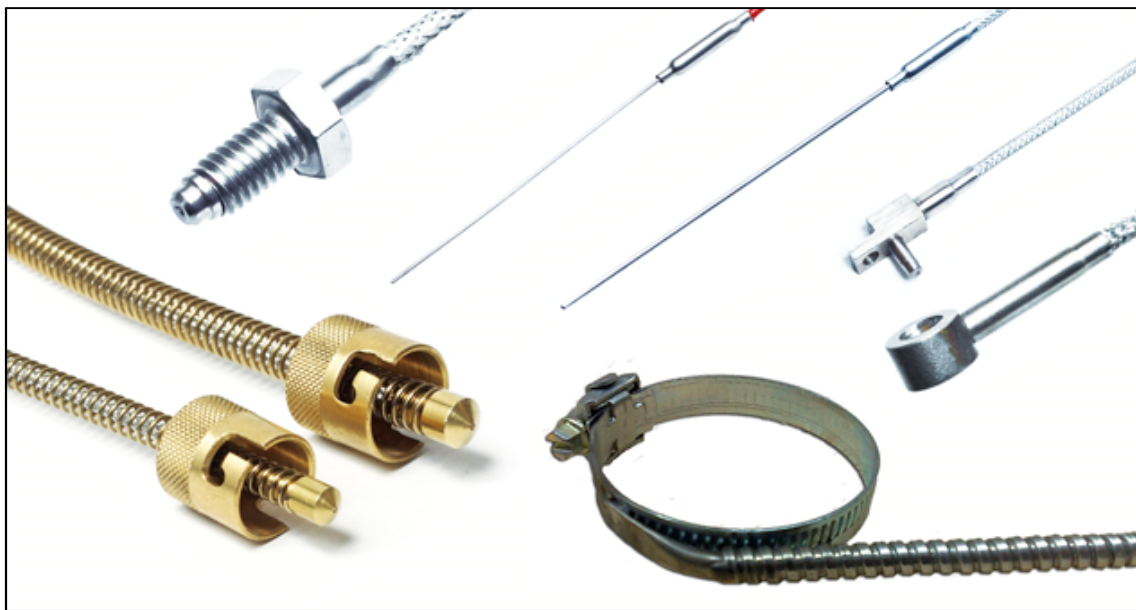
Quando o isolamento do fio se desintegra, resulta em um contato elétrico não intencional em um local diferente do ponto de detecção desejado. Se um termopar tão



danificado for usado no controle de circuito fechado de um termostato ou outro controlador de temperatura, isso pode levar a um evento de superaquecimento e, possivelmente, a danos graves, pois a falsa leitura da temperatura normalmente será menor do que a temperatura de junção de detecção (FRANCHI, 2010).

Os termopares podem assumir os mais diversos formatos como pode se observar na Figura 11, para qualquer tipo, de acordo com a necessidade da instalação ou ponto de detecção de leitura da temperatura.

Figura 11 - Formatos de termopares



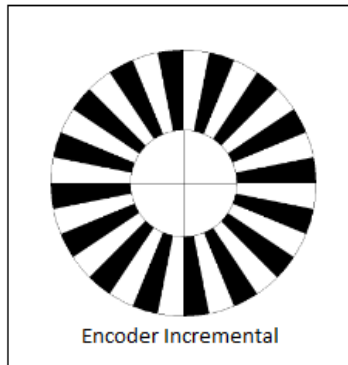
Fonte: Quality-up (2015).

Diante de tantos tipos de termopares e orientações para seu emprego, é de fundamental importância que o engenheiro de automação tenha domínio dos procedimentos e atitudes sobre os termopares, para que atue com segurança nos projetos, assim contribuindo para a qualidade e competitividade industrial.

### 2.3.4 Encoder

O encoder é um transdutor que tem como função converte um movimento linear ou angular em de pulsos digitais elétricos. Os pulsos gerados podem ser usados para determinar grandezas como, distância, velocidade, rotação, taxa de aceleração, posição ou direção. A geração dos pulsos elétricos acontece devido à forma construtiva dos discos, conforme ilustrado na Figura 12 (GOZZI; PAREDE; HORTA, 2011).

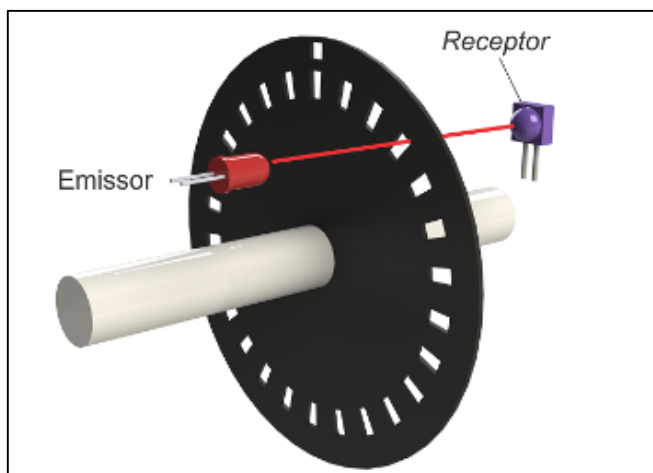
Figura 12 - Forma esquemática do disco de um encoder



Fonte: HI Tecnologia (2017).

Os encoders são formados basicamente por disco com marcações vazadas, com um componente semiconductor emissor e receptor conforme a Figura 13 (HI TECNOLOGIA, 2017, texto digital).

Figura 13- Forma construtiva do encoder



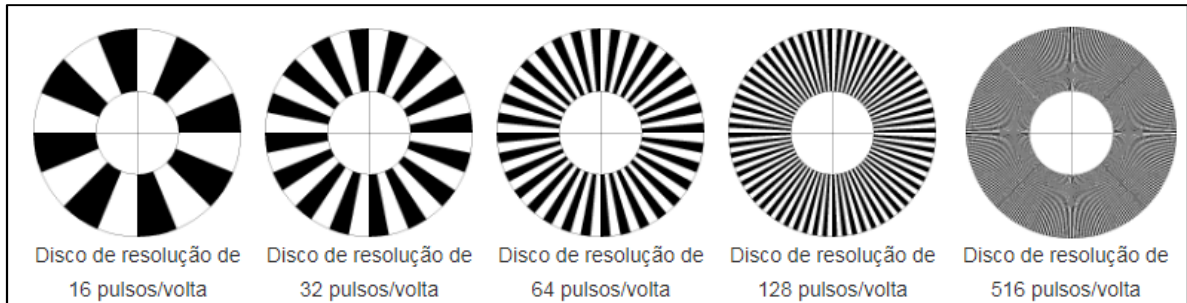
Fonte: HI Tecnologia (2017).

As marcações vazadas no disco possuem a função de bloquear e desbloquear o feixe de luz do led para o fotodetector. Desse modo, conforme o disco vai girando o fotodetector, um circuito eletrônico manda para as saídas do encoder um sinal no formato de uma onda quadrada, proporcional ao número de marcações do disco do encoder, de acordo com a resolução do mesmo. Logo, a resolução do encoder condiz o número de marcações vazadas no disco do dispositivo.



A Figura 14 mostra um exemplo de resolução (HI TECNOLOGIA, 2017, texto digital).

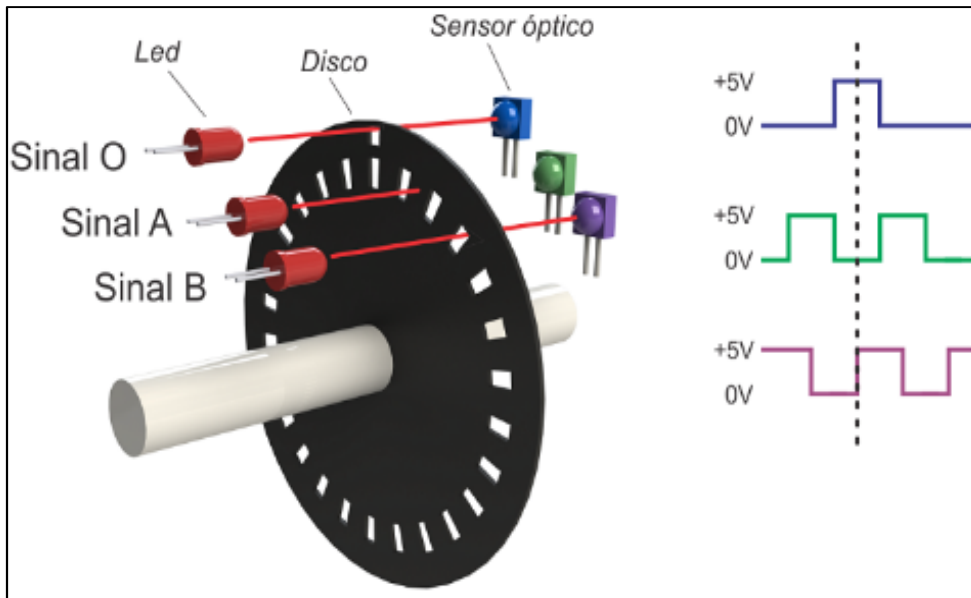
Figura 14- Resolução do encoder



Fonte: HI Tecnologia (2017).

O encoder óptico tipo incremental, é o mais comum do mercado, possui 3 sinais de saída: “A”, “B” e “O”. Com esses sinais, obtém-se, o sentido da rotação, o início/fim de uma volta e ângulo de rotação como na Figura 15.

Figura 15 - Sinais do encoder



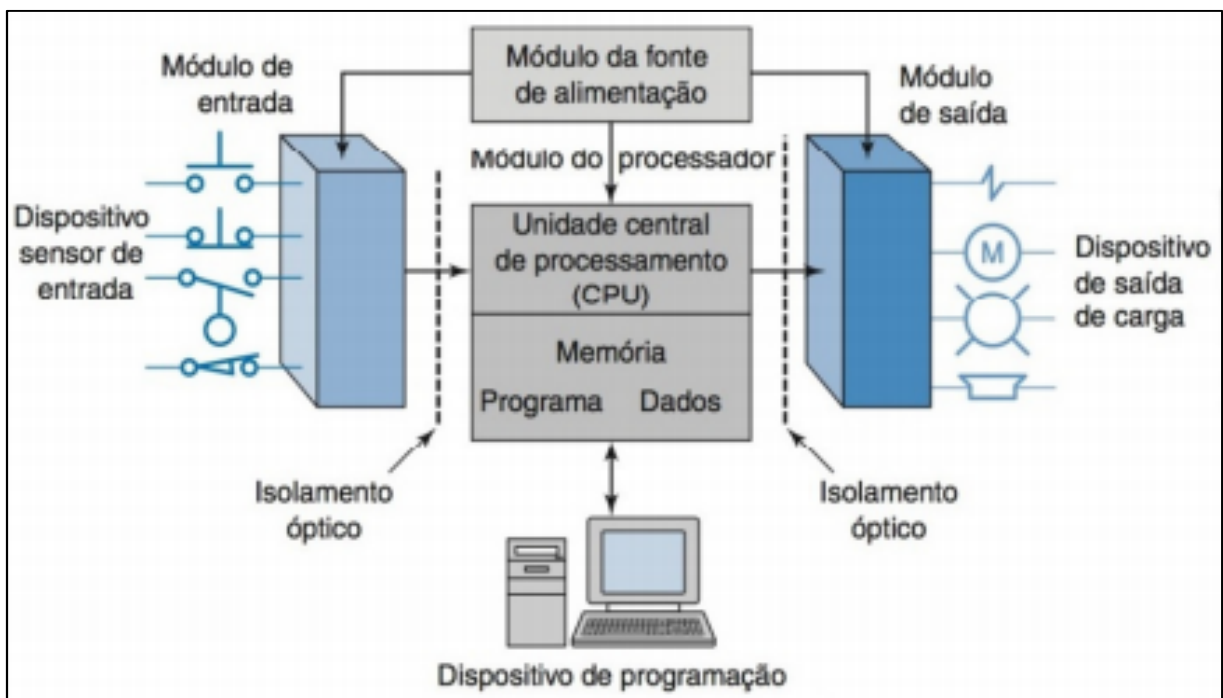
Fonte: HI Tecnologia (2017).

## 2.4 CLP – Controlador Lógico Programável

Um CLP é um computador dedicado micro processado que possui funções de controle dos mais diversos tipos e níveis de complexidade. Sua finalidade consiste em monitorar parâmetros inerentes ao processo e ajustar as operações de acordo com estas informações. O CLP pode ser programado e controlado, além de permitir sua operação por pessoas sem conhecimento prévio de computação (WEBB; REIS, 2003). Complementam Bolton (2007) e Bega et al. (2006), que o CLP é um equipamento dedicado para lógica de controles e variáveis, inicialmente desenvolvida para a indústria.

Salientam Moraes e Castrucci (2001), que o CLP é um equipamento digital que controla máquinas e processos. Uma memória programável é utilizada para armazenar instruções e executar funções específicas como controle de energização/desenergização, contagem, temporização, sequenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados. A Figura 16 apresenta um diagrama com os principais componentes de um CLP.

Figura 16- Diagrama dos principais componentes de um CLP típico



Fonte: Petruzella (2013).

Os controladores lógicos programáveis (CLP) vêm sendo empregados cada vez mais nas soluções de automação, principalmente no universo da indústria, comércio,

automobilística, aeronáutica, ou em qualquer área que necessite de uma solução em automação.

A competitividade em todos os setores trouxe a necessidade de controlar cada vez mais os processos, com maior precisão, maior velocidade, conseqüentemente maior produção e não menos importante, com maior segurança.

Citam Franchi (2009), Webb e Reis (2003), que uma das grandes vantagens na utilização do CLP deve-se ao fato do mesmo possuir particularidades de programação que o tornam mais eficiente que outros equipamentos industriais. Além disso, o CLP proporciona as seguintes vantagens:

- Facilidade e flexibilidade para programar e alterar os programas;
- É possível armazenar o programa desenvolvido em memória para replicação em outros sistemas ou para cópia de segurança (*backup*);
- Velocidade de operação da ordem de milissegundos;
- As falhas ou defeitos no sistema são informados ao operador através de sinalizadores visuais no;
- Dimensões físicas reduzidas proporcionam facilidade na hora da montagem e ocupam pouco espaço nos quadros de comando;
- Capacidade de expansibilidade de número de entradas e saídas digitais e analógicas, visando contemplar desde os processos mais simples aos mais complexos;
- Estrutura desenvolvida para suportar ambientes agressivos, que apresentem ruídos elétricos, altas temperaturas, poluição atmosférica, dentre outros.

Os CLPs são definidos pela capacidade de processamento e pela quantidade de entradas e saídas. Também são classificados como compactos, os quais todas as entradas e saídas estão na mesma unidade, até mesmo alguns com IHM incorporada. Já os modulares, são compostos por unidades de entradas e saídas que podem ser conectadas e desconectadas, dessa forma alterando a estrutura. Ambos os modelos citados podem ser observados na Figura 17.

Figura 17 - Exemplo de CLP modular e compacto



Fonte: Autor, Adaptado de Siemens (2019).

### 2.4.1 Linguagem de Programação (IEC 61131 -3)

Segundo Franchi (2011), programar significa inserir instruções a um sistema com capacidade computacional, de maneira que este seja capaz de se comportar deterministicamente, executando automaticamente as decisões de controle em relação ao seu estado atual, das entradas e saídas do sistema em um determinado instante de tempo. Para tanto, a linguagem de programação abrange um conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional é capaz de reconhecer.

Conforme John e Tiegelkamp (2001), a *International Electrotechnical Commission* (IEC) desenvolveu um padrão para uso em controladores industriais para padronizar uma variedade de conceitos modernos e linguagens a fim de beneficiar os programadores. Embasada na experiência com as linguagens de programação existentes, a IEC definiu 5 linguagens, juntamente com um conceito de dados fazendo uso de modernos métodos de desenvolvimento de software.

No início dos anos de 90, surgiu a norma IEC 1131 e, nos anos seguintes logo foi revisada para dar lugar a IEC 61131 padronizando as seguintes linguagens:

- Diagrama de Blocos de Funções (FBD – *Function Block Diagram*);
- Linguagem *Ladder* (LD – *Ladder Diagram*);
- Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC – *Sequential Function Chart*);
- Lista de Instruções (IL – *Instruction List*);
- Texto Estruturado (ST – *Structured Text*).

A IEC 61131 foi incorporada pelos diversos fabricantes de controladores e se tornou realidade global para programação.

É importante salientar que a norma visa contemplar os mais diversos segmentos da indústria e uniformizar os diversos métodos de programação dos controladores lógicos programáveis industriais. Para este trabalho, adotou-se a linguagem de programação *Ladder*, por ser amplamente difundida no mercado, permitindo a criação de blocos lógicos padronizados.

#### **2.4.1.1 Linguagem *Ladder***

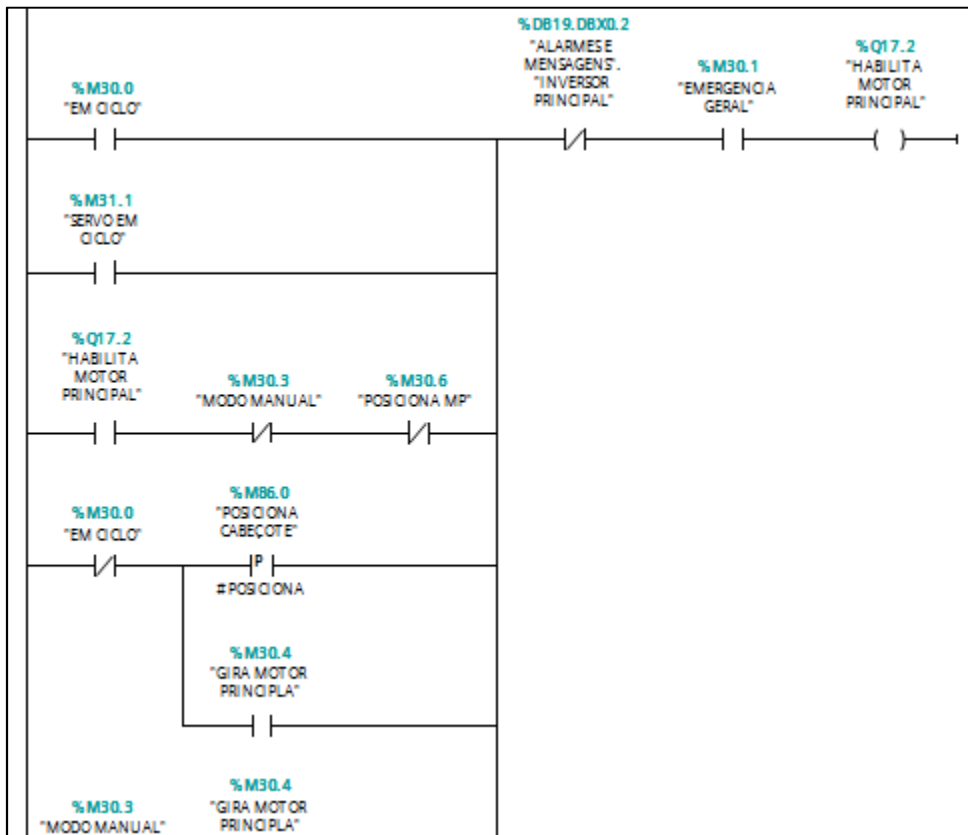
A linguagem *Ladder* é um método mais utilizado na programação de CLPs. Esta linguagem é baseada na representação gráfica de circuitos elétricos, utilizando duas linhas verticais paralelas na área de programação representando os barramentos de energização de um circuito elétrico. Estes barramentos são conectados por linhas horizontais que representam as operações a serem realizadas no controle do processo (BOLTON, 2007).

Citam Franchi (2011), Webb e Reis (2003), que a linguagem *Ladder* é uma linguagem gráfica baseado em circuitos elétricos com relés e contatos elétricos para a construção de circuitos de comandos de acionamentos. Considerando que na época do seu desenvolvimento os engenheiros eletricitas e técnicos eram, geralmente, pessoas responsáveis pela manutenção no chão de fábrica, assim a linguagem *Ladder* deveria ser familiar para esses profissionais.

Por ser a primeira linguagem de programação utilizada pelos fabricantes, é a mais utilizada e difundida, podendo ser encontrada na maioria dos CLPs da geração atual.

A Figura 18 apresenta um exemplo de código escrito em linguagem *Ladder*.

Figura 18 - Exemplo de código em linguagem *ladder*



Fonte: Autor (2019).

A partir da Figura 18, é possível perceber que o diagrama de contatos da linguagem *ladder* assemelha-se a uma escada, que é propriamente a tradução literária da palavra *ladder* em inglês. As linhas horizontais do código possuem contatos (botões e sensores) que representam as entradas digitais do sistema e alinham-se à esquerda. Na extremidade direita das linhas horizontais, há bobinas (motores e lâmpada) que representam as saídas digitais do sistema.

Conforme explicam Franchi (2011); Webb e Reis (2003); John e Tiegelkamp (2001), a principal função de um programa em linguagem *ladder* consiste em controlar o acionamento de saídas, dependendo da combinação lógica dos contatos de entrada. Isto quer dizer que, para acionar uma bobina que representa uma saída digital do CLP, é necessário analisar a combinação das entradas que precedem esta na linha de comando. A linguagem *ladder* apresenta segundos os autores, uma série de vantagens, dentre as quais podem ser citadas:

- Possibilidade de rápida adaptação para a equipe técnica, uma vez que a linguagem se assemelha aos diagramas elétricos usuais;
- Fácil visualização dos estados das variáveis sobre o diagrama *ladder*;
- Fácil e clara documentação;
- Símbolos padronizados e largamente utilizados no mundo pelos fabricantes e usuários;
- Técnica de programação mais difundida e aceita na indústria.

Tendo em vista os fatos mencionados, verifica-se que a linguagem de programação *ladder* atende aos requisitos do sistema a ser implementado neste trabalho.

## 2.5 Interface homem máquina

A interface homem máquina (IHM) é um dispositivo capaz de fazer a interação da máquina com o usuário, permitindo a visualização de informações do processo, alteração de parâmetros, permitindo ajustar as condições operacionais.

Segundo Moraes e Castrucci (2001), a necessidade da criação de uma interface surgiu quando se começou a trabalhar com sistemas automatizados complexos, de maneira a facilitar o trabalho da equipe encarregada da operação do sistema. Seu objetivo é permitir a supervisão da planta e muitas vezes o comando de determinados pontos da mesma.

O aparelho de interface troca informações com o sistema de controle por meio de um *link* de comunicação, o qual pode variar desde comunicação serial à rede de Ethernet.

A IHM, possui recursos que a tornam altamente atrativos, como as interfaces gráficas de usuário, que por meio da visualização gráfica em cores e com alta definição, torna-se muito mais prático e rápido obter informações precisas a respeito do *status* do processo. (SILVEIRA,1999)

O mercado disponibiliza uma gama de IHMs, contendo os mais diversos recursos. Algumas IHMs com uma ou mais linhas de caracteres, outras com display gráficos, mono cromáticas a coloridas, além de possuírem recurso de comando por toque *touchscreen*. Na Figura 19 podemos ver um exemplo de IHM utilizada na indústria.

Figura 19- Interface Homem Máquina (IHM)



Fonte: Battassini (2018).

Normalmente, as IHMs operam em dois modos. O primeiro denominado modo de desenvolvimento, para criação de telas gráficas e animações que representam o processo produtivo. O segundo é o modo de execução, no qual a tela faz a interface com o usuário e mostra o acompanhamento do processo. Deve ser capaz de capturar e armazenar dados, gerar gráficos, alarmes dentre outras funções que simulem o processo (MORAES, 2012).

## 2.6 Atuadores

O atuador, também chamado de elemento final de controle, é, segundo Moraes e Castrucci (2001), o elemento de campo utilizado para executar as instruções do CLP. Há muitos tipos de atuadores, tais como hidráulicos, pneumáticos e elétricos, cada um com suas peculiaridades e aplicações específicas. Complementa Fraden (2004), que o atuador é o componente responsável por converter um sinal elétrico em outra forma de energia, sendo o oposto de um sensor.

Comparando com os sensores, os atuadores são o inverso, dispositivos que convertem uma grandeza elétrica controlada, em uma atividade física. Podem-se encontrar os atuadores na forma de motores, válvulas solenoides para acionamentos de cilindros hidráulicos ou pneumáticos, conforme pode ser ver no exemplo na Figura 20 (ROSÁRIO, 2005).



Figura 20 - Exemplo de atuador pneumático



Fonte: Smar (2011).

## 2.7 Inversor de frequência

Inversor de frequência, também chamado de conversor de frequência é um equipamento capaz de controlar o torque ou a velocidade de um motor de indução, através da variação de frequência resultante na sua saída.

Sua aplicação vai desde um simples acionamento de motor até aplicações mais complexas, exemplo máquinas de papel, extrusoras de plástico, exaustores, compressores e outros. Na Figura 21 é possível ver um exemplo de inversor de frequência.

Figura 21 - Inversor de frequência



Fonte: WEG Automação (2016).

De acordo com Capelli (2007), um dos equipamentos mais comuns na automação industrial é o inversor de frequência. Com as novas tecnologias de processadores digitais de alta velocidade e com o advento dos transistores IGBTs, os acionamentos de motores elétricos em corrente alternada ocupam mais de 80% dos sistemas de controle de motores elétricos.

Para Franchi (2009), o termo correto para o dispositivo de variação de velocidade é conversor de frequência, pois a etapa inversora converte CC em CA, sendo o conversor de frequência responsável pela conversão de uma frequência de entrada de aproximadamente 60 Hz em um valor a ser definido pelo usuário. O termo conversor de frequência é empregado por alguns fabricantes, entretanto a denominação inversora de frequência tornou-se muito popular e é largamente utilizada por diversos fabricantes e usuários.

Dependendo da potência e modelo do inversor, a estrutura básica pode mudar, mas geralmente é composto por circuito retificador, *link* dc, módulo IGBT, cartões de potência, cartão de controle e interface homem máquina.

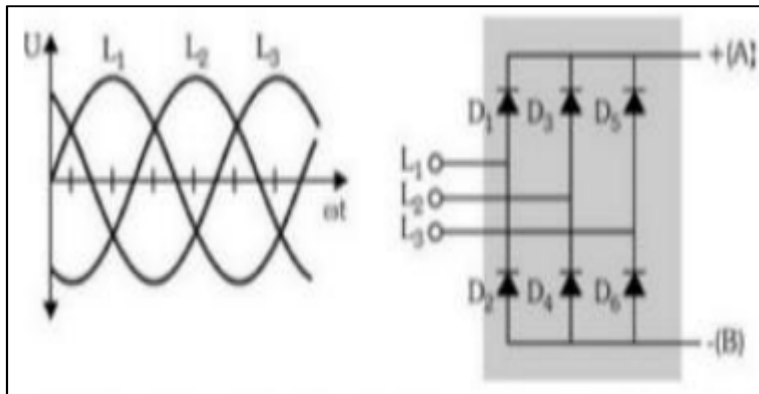
Conforme Franchi (2009), o circuito de potência é dividido em três partes: a primeira e circuito retificador de entrada, o segundo o circuito intermediário e à terceira parte a saída.

Ainda existe uma variação do inversor de frequência que é chamado de servoconversor, tem como função principal controlar um servomotor. Esta unidade é utilizada em diversas aplicações industriais em que a elevada dinâmica, precisão de velocidade, posicionamento preciso e controle de torque sejam fatores importantes na produção, se diferenciando do inversor.

De acordo com Rashid (1999), para aplicações em soluções de alta potência com retificadores, é utilizado retificador trifásico em ponte, formando uma ondulação de 6 pulsos na saída de tensão.

Na Figura 22 é possível ver a forma de onda da tensão e da ponte retificadora de 6 pulsos.

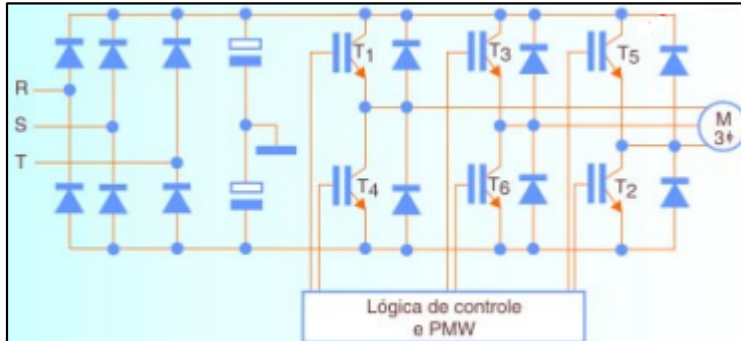
Figura 22 - Etapa de retificação trifásica



Fonte: Franchi (2009).

Após a retificação para tensão contínua, a mesma é filtrada através de capacitores que atenuam o *ripple* e introduzida nos terminais de saída dos tiristores T1 à T6, que funcionam no corte ou na saturação como chave estática. A Figura 23 ilustra as três etapas do inversor de frequência que também é a mesma do servoconversor: retificador, filtro e saída (IGBT).

Figura 23 - Diagrama simplificado de etapas de um inversor de frequência



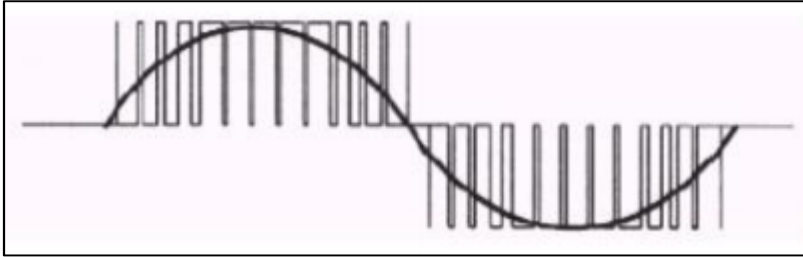
Fonte: Capelli (2017).

Os inversores de frequência modernos e servoconversores utilizam a combinação de abertura e fechamento das chaves em uma estratégia chamada de “PWM” (*Pulse Width Modulation*) ou “Modulação por Largura de Pulsos” que permite a geração de ondas senoidais de frequência variável com resolução de até 1HZ.

A forma de onda na saída de um inversor de frequência é sempre quadrada, porém a técnica de PWM (*Pulse Width Modulation*) controla os transistores de saída com chaves “liga ou desliga” para obter a forma de onda da tensão de saída o mais próximo de uma senóide.

Essas duas formas de onda, PWM e senóide são apresentados na Figura 24.

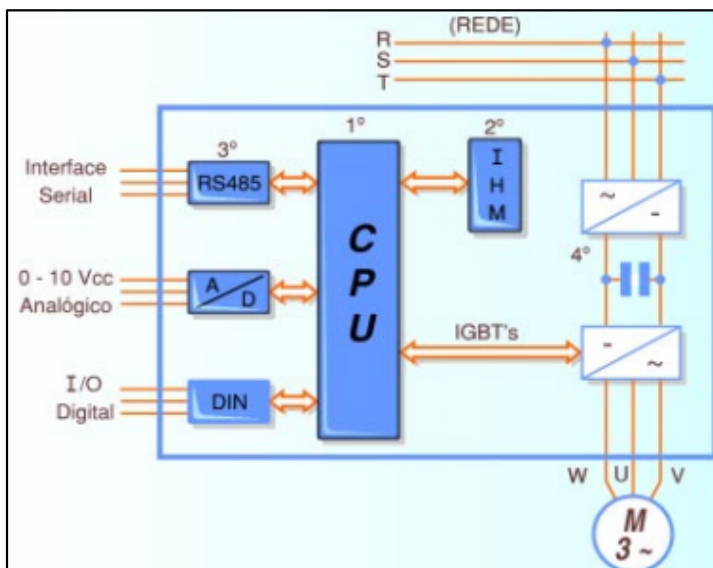
Figura 24 - Modulação PWM



Fonte: Franchi (2009).

Ainda para Capelli (2007), cabe lembrar que cada fabricante utiliza sua própria tecnologia, mas esse modelo abrange uma grande parte dos inversores e servoconversores encontrados no mercado atual. Podemos, portanto, dividi-lo em 4 blocos principais, na Figura 25 segue um exemplo de diagrama em blocos.

Figura 25 - Exemplo de diagrama de blocos de inversor de Frequência



Fonte: Capelli (2017).

O controle do inversor e servoconversor é feito por meio de malhas, com malhas internas controlando as variáveis mais rápidas como no caso a corrente, agindo em cascata.

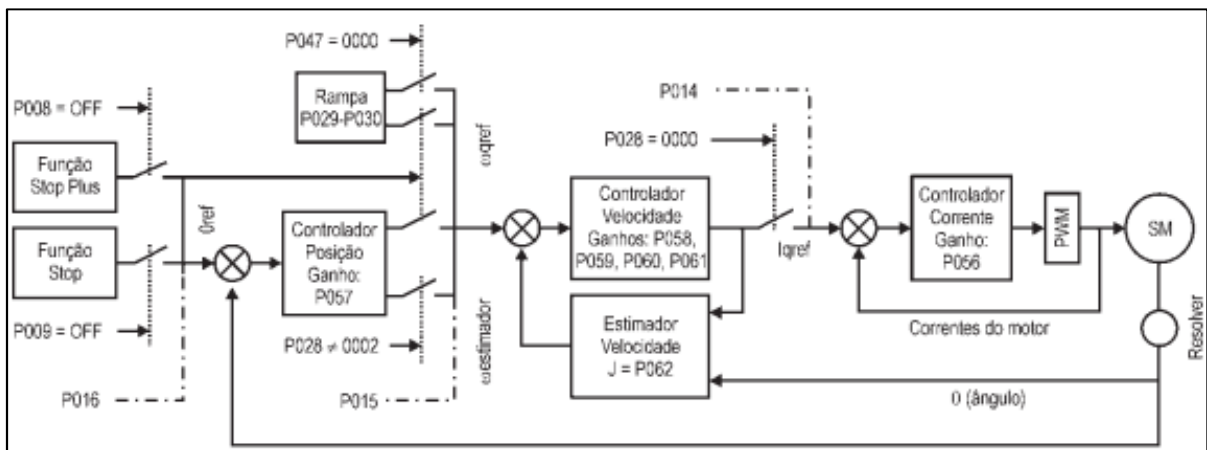
As vantagens neste tipo de controle são desde a facilidade de projeto até os procedimentos de diagnósticos de falhas e proteção do sistema.

Quando somente a malha de controle de corrente está em funcionamento, diz-se que o inversor ou servoconversor está operando em controle de torque, uma vez que o torque é

proporcional à corrente. Quando operando controle de velocidade, uma malha de controle de velocidade é sobreposta à malha de controle de corrente.

Já, no modo de controle de posição, é inserida na estrutura mais uma malha de controle de posição em cascata. Durante o funcionamento, quando a malha de controle de corrente está ativa, o servoconversor está em modo de controle de torque. Na Figura 26 demonstra as malhas existentes no servoconversor como as malhas de velocidade e de posicionamento em conjunto com o controle PID.

Figura 26 - Malha de controle do servoconversor



Fonte: WEG Automação (2012).

## 2.8 Servomotor de ímã permanente

Saeed (2013) afirma que o servomotor que pode ser CC, CA de indução ou síncrono, sem escovas (ou *brushless*) com realimentação, que pode ser controlado e move-se a uma velocidade e torque determinado para um ângulo de rotação desejado.

É composto por um motor com um sensor de posição acoplado para *feedback* de realimentação. O sistema completo ainda conta um servoconversor.

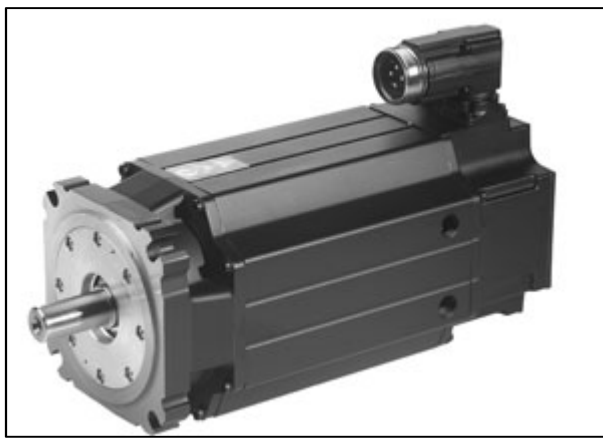
O servoconversor utiliza o sinal de *feedback* do sensor para controlar a posição angular do motor com precisão. Isto é chamado de controle de malha fechada. Com o sistema operando em malha fechada, o servomotor é uma solução de alto desempenho a aplicações onde motores de passo ou de indução não suprem a necessidade. (KOLLMORGEN, 2015).

Reconhecidos por oferecerem alto desempenho e confiabilidade são utilizados nas mais diversas aplicações, tais como: máquinas convertedoras de plásticos, amoldamento de

metais, robôs, simuladores, máquinas para teste e geração de energia. Podendo ser fornecidos com resolver, encoder, freio de segurança e na versão “*frameless*” (sem carcaça, apenas o rotor e estator)

Os servomotores, na Figura 27, são motores AC síncronos; eletronicamente comutados com excitação de campo de ímã permanente, projetados especificamente para aplicações industriais, altamente dinâmicas onde tempos de posicionamento de 30ms ou menos são necessários (MOOG 2013).

Figura 27 - Exemplo de um servomotor



Fonte: Moog (2019).

O servomotor, mais encontrado em ambientes industriais é um motor síncrono de ímã permanente de corrente alternada. As máquinas síncronas têm esse nome devido a frequência elétrica da tensão, na armadura, estar sincronizada com a velocidade mecânica, isto é, sua frequência em ciclos por segundo (Hz) é a mesma que a velocidade do rotor em rotações por segundo. Deste modo, uma máquina síncrona de dois polos deve girar 3600 rotações por minuto para produzir uma tensão de 60Hz. Estas afirmações podem ser comprovadas com a fórmula da frequência elétrica da tensão gerada por uma máquina síncrona de múltiplos polos, como é dada abaixo (FITZGERALD, 2006).

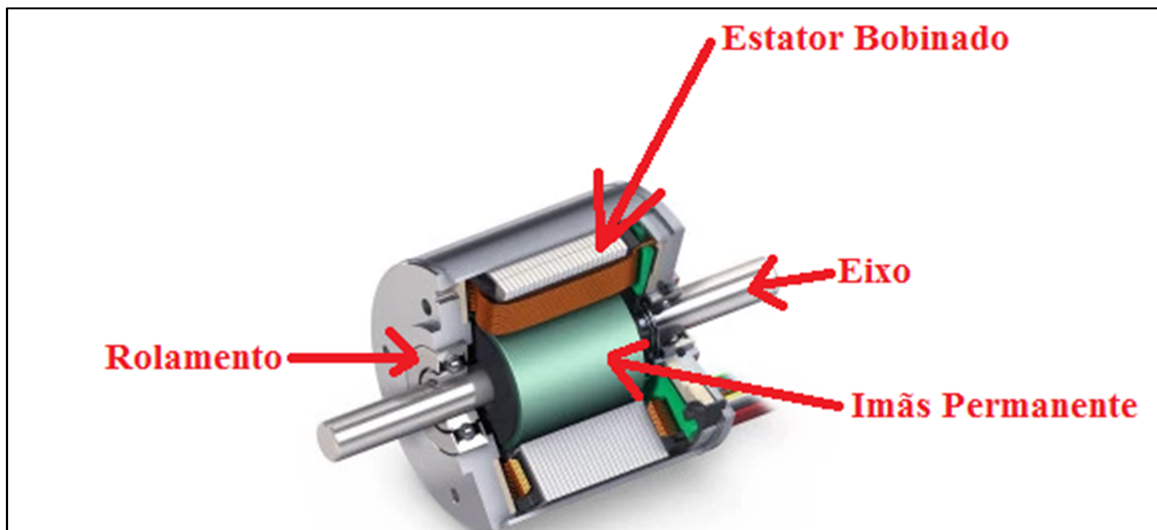
$$f_e = \left( \frac{p_{\text{ólos}}}{2} \right) \frac{n}{60} \quad \text{Hz(l)}$$

Onde n é a velocidade mecânica em rotações por minuto

Esse tipo de motor é muito semelhante ao motor síncrono convencional, mas não possui enrolamentos de campo que neste caso é substituído por um conjunto de ímãs permanente que formam o campo magnético, e nem possuem conjunto coletor-escovas, o que resulta em uma ausência de controle de campo e das tensões nos seus terminais e menos perdas por efeito joule.

O estator é semelhante aos dos demais motores convencionais tipo gaiola CA. São constituídos de ranhuras, onde são embutidos os enrolamentos de armadura, sua composição básica pode ser observada na Figura 28.

Figura 28 - Composição básica de um servomotor de ímã permanente



Fonte: Adaptado da apresentação da SEW-Eurodrive (2012).

Para o funcionamento do servomotor, é necessário um dispositivo eletrônico que trabalha em conjunto consigo chamado de servodrive, mencionado anteriormente.

### 3 DESENVOLVIMENTO

Conforme mencionado no Referencial Teórico, o processo de corte e solda é uma etapa fundamental na fabricação de embalagens plásticas. A Plastrela, empresa objeto desse estudo, possui uma Máquina de Corte e Solda que processa filme plástico.

Tendo em vista que o sistema de controle atual da máquina não é confiável e foi descontinuado pelo fabricante, o mesmo apresentou uma proposta de upgrade por outro sistema de automação. Entretanto, a proposta não se torna viável, em razão do custo que gira em torno de R\$ 80.000,00 e da dependência do fabricante para questões de manutenção e solução de problemas.

Em virtude dos fatos mencionados, este trabalho propõe o desenvolvimento de um upgrade da automação da máquina objeto desse estudo, com um custo inferior ao proposto pelo fabricante. Para tanto, realizou-se o dimensionamento e o comissionamento do projeto, aquisição das peças necessárias e, após o desenvolvimento da lógica, foi elaborada a documentação técnica para disseminar o conhecimento dentro da empresa, agilizando a detecção e correção de problemas, reduzindo os custos de máquina parada.

Importante salientar que o código desenvolvido é de domínio da empresa e manterá as mesmas funcionalidades operacionais atuais, além de proporcionar facilidades requisitadas pelos operadores ao longo do tempo. Com essa proposta, a empresa não mais fica refém de assistência técnica do fabricante, reduzindo custos de manutenção, além de despesas de viagem e estadia.

Para realizar um *upgrade* desta complexidade é de fundamental importância o pleno entendimento do processo, tanto mecânico quanto de automação, e principalmente

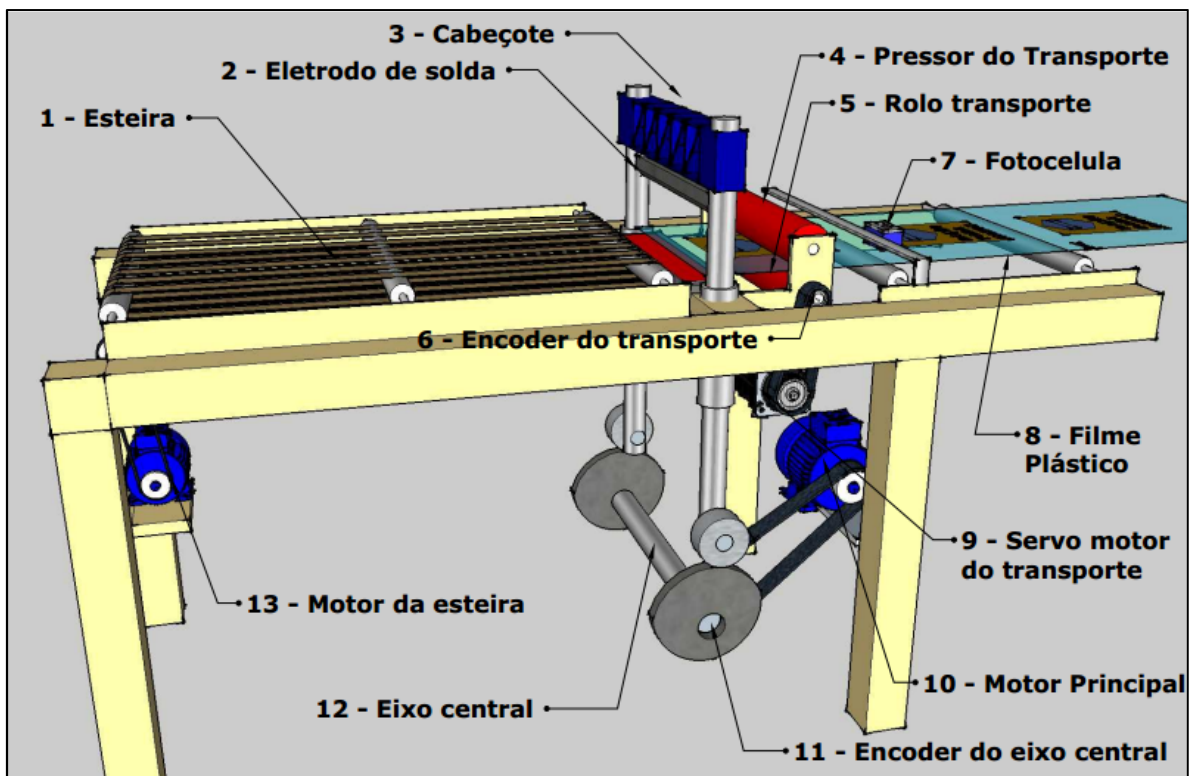


operacional. Para melhor compreensão, a seguir será descrito o funcionamento da máquina, das partes mecânicas e a automação.

### 3.1 Funcionamento e mecânica do sistema atual

Para transportar, posicionar, cortar, soldar e furar o filme plástico são necessários os motores, atuadores e sensores já citados neste trabalho. O filme plástico está posicionado na máquina no sentido horizontal, primeiramente passando por um sistema de desbobinamento e balancim até chegar ao conjunto de tração que é composto por um rolo pressor e um rolo tracionado pelo servoconversor com pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Estrutura principal da máquina corte e solda de filme plástico



Fonte: Autor (2019).

Após o transporte, o filme é posicionado sob o cabeçote de corte e solda em forma de guilhotina no sentido horizontal, que a cada ciclo do cabeçote realiza a solda e o corte da embalagem. O cabeçote é movimentado pelo motor principal através de um sistema mecânico de eixo central e excêntrico, cuja velocidade dita a quantidade de produção da máquina que pode ser variada de 20 a 50 cortes por minuto (CPM).

Cada volta completa do eixo central produz uma embalagem, isso significa que o conjunto cabeçote fica a metade do ciclo, ou seja, o cabeçote fica aberto e a outra metade fica fechada. É na metade do tempo aberto do cabeçote que o transporte atua, transportando o filme plástico e posicionando o mesmo entre o cabeçote.

Com o motor principal ligado, movimenta o cabeçote iniciando o ciclo. Quando o cabeçote abre é o momento do servoconversor ser acionado transportando o filme e posicionando-o entre os cabeçotes. Quando o cabeçote fecha, acontece o contato com o filme, pressionando os eletrodos de corte e solda que estão no cabeçote.

Após o filme ser cortado e soldado, uma parte dele se desprende, dando formato a embalagem final, que na sequencia entra na esteira de transporte que vai conduzi-la até a pilha de sacos.

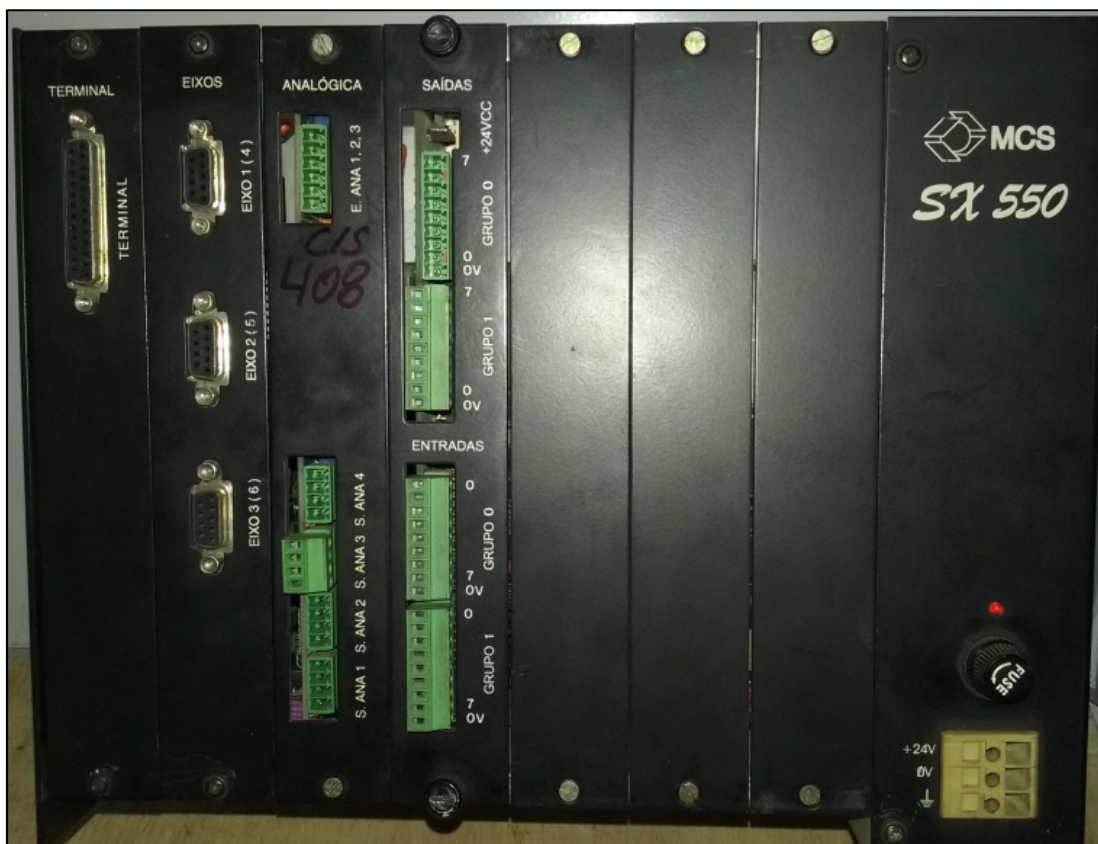
### **3.2 CLP e IHM do sistema atual**

A máquina de corte solda SC 700II, ano 1999 número de série 2104, objeto deste trabalho é de fabricação nacional, do fabricante HECE Máquinas, da cidade de São Carlos em São Paulo. O sistema de automação desta máquina, original do fabricante, é um conjunto comando numérico computadorizado (CNC), munido de controlador e tela de operação do fabricante MCS Engenharia.

O controlador é o modelo SX 550C-C, que era fabricado para controlar até três eixos, mesmo hardware utilizado em centro de usinagens, fresadoras e outros similares em conjunto com a tela de operação TDV 80, porém na máquina de corte solda são usados somente dois eixos controlados.

As Figuras 30 e 31 apresentam o controlador e a tela de operação atual da máquina respectivamente.

Figura 30 - Controlador SX 550C-C



Fonte: Autor (2019).

Figura 31 - Tela de operação TDV 80



Fonte: Autor (2019).

A arquitetura do controlador SX 550C-C é composta por *slots* conectados a uma placa central de processamento, onde um slot é de entradas e saídas digitais, outro slot é entradas e saídas analógicas, um slot para os eixos controlados, e um para a tela e operação, além da fonte de alimentação incorporada no bastidor do CNC.

As entradas digitais apresentadas na Tabela 3 recebem os seguintes comandos e possuem as respectivas *tags*:

Tabela 3 - Entradas digitais do CNC

E0	Confirmação de Servo Drive OK	E8	Inversor esteira OK
E1		E9	Termico do motor alinhador OK
E2	Emergência OK	E10	Fim de bobina
E3	Inversor desbobinador OK	E11	
E4	Inversor principal OK	E12	Falha de corte
E5	Inversor sanfonador OK	E13	
E6	Desbobinador linear OK	E14	Falha de temperatura
E7	Ciclo Stop	E15	Foto celula
0V	0V comum para as entradas digitais	0V	0V comum para as entradas digitais

Fonte: Autor, adaptado do esquema elétrico da máquina (1998).

As saídas digitais apresentadas na Tabela 4 controlam os seguintes comandos e possuem as respectivas *tags*:

Tabela 4 - Saídas digitais do CNC

S7	Saída de emergência	S15	
S6	Ciclo Libera impulso sanfonador	S14	
S5	ionizador	S13	
S4		S12	saída para vazador
S3		S11	
S2	Alinhador	S10	saída para ar de guia
S1	Extrator de refile	S9	
S0	Alarme sonoro	S8	Saída para furador
0V	0V comum para as saídas	0V	0V comum para as saídas

Fonte: Autor, adaptado do esquema elétrico da máquina (1998).

As entradas analógicas apresentadas na Tabela 5 recebem os seguintes sinais e possuem as respectivas *tags*:

Tabela 5 - Entradas analógicas do CNC

0V Pot	0V para potenciometro
Cursor Pot	cursor potenciometro principal
10V Pot	
E Pot 1	
E pot 2	Cursor potenciometro esteira
10V Pot	10V para potenciometros

Fonte: Autor, adaptado do esquema elétrico da máquina (1998).

As saídas analógicas apresentadas na Tabela 6 recebem os seguintes sinais e possuem as respectivas *tags*:

Tabela 6 - Saídas analógicas do CNC

Transporte		Motor Principal	Motor Esteira
S. Analog 1	S. Analog 2	S. Analog 3	S. Analog 4
0V Analog.	0V Analog.	0V Analog.	0V Analog.
S. Analog	S. Analog	S. Analog	S. Analog
24VCC	24VCC	24VCC	24VCC
Libera	Libera	Libera	Libera

Fonte: Autor, adaptado do esquema elétrico da máquina (1998).

No sistema atual, o comando numérico computadorizado (CNC) recebe as entradas digitais, analógicas, encoder, processa os sinais e atua nas saídas digitais e analógicas. As entradas analógicas do CNC servem como referência de velocidade para os motores da esteira e principal conforme a Figura 29, por meio de potenciômetro instalado no painel de operação.

Os sinais de entrada analógica são convertidos e endereçados no CNC para as saídas analógicas do mesmo, que, por fim, são conectados ao inversor da esteira e do motor principal.

Já a terceira saída analógica é utilizada para dar referência de velocidade para o transporte que é o drive do servomotor, porém esta referência é informada via teclado operacional na IHM, ou seja, depende do conhecimento do operador da máquina, características do filme plástico como, espessura, comprimento, largura e composição da estrutura do filme plástico.

As entradas digitais representam sinais de confirmação dos respectivos tags, conforme Tabela 3. Estas servem para confirmar se as saídas e os dispositivos acionados estão funcionando. Caso uma saída ou um dispositivo não confirme seu funcionamento, é gerado





central é uma embalagem, todas as funções realizadas na máquina durante um ciclo são referenciadas pelo encoder do eixo central em forma de ângulo.

Figura 33 - Encoder eixo central



Fonte: Autor (2019).

No rolo de transporte também existe um encoder, o qual serve para referência do servoconversor para precisão no tamanho da embalagem.

Um item importante é o sensor ótico de contraste de cor que fica posicionado a uma distância de uma ou duas embalagens antes do rolo de tração, lendo marca de posição na embalagem, conforme pode ser observada na Figura 34. Essa marca também é chamada de marca de fotocélula.

Figura 34 - Marca de fotocélula na embalagem e fotocélula



Fonte: Autor (2019).

A seção a seguir apresenta o funcionamento operacional atual da máquina, elucidando os comandos e *setpoints* configurados pelo operador.

### 3.3 Funcionamento operacional

A operação e programação operacional são feitas basicamente via painel de operação TDV 80 (Figura 32), usando o teclado numérico e teclas de atalho. Neste painel, o operador programa as características do item a ser processado, como:

- Comprimento da embalagem;
- Especifica se é material impresso;
- Especifica se é furado, vazado ou não;
- Programa a quantidade por pacotes;



- Programa a quantidade por lote com aviso sonoro de fechamento de quantidade;
- Programa a velocidade de máquina e esteira;
- Programa a marca de fotocélula;
- Liga exaustor;
- Liga alinhador;
- Liga ar de guia e outros acessórios na máquina.

As temperaturas não são programadas via TDV 80, isso quer dizer que não são controladas pelo CNC, mas sim por controladores de temperatura no painel de operação, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35 - Controladores de temperatura no painel da máquina



Fonte: Autor (2019).

A TDV 80 apresenta o valor parcial de embalagens cortadas, valor parcial por pacote e por lote. É possível programar intervalo de transporte quando atingir a quantidade de pacotes.

Neste momento, o transporte deixa de tracionar a embalagem por ciclos determinados pelo operador.

Para o modo setup, é possível colocar a máquina em modo manual, sendo possível movimentar o transporte manualmente acionando um botão pré-determinado no painel de operação, em ambos os sentidos de transporte. Também é possível acionar e posicionar o cabeçote via teclas de atalho pré-determinadas na TDV 80.

Em virtude dos fatos mencionados, constata-se que a tecnologia empregada neste processo é funcional, porém datada e limitada. O display da IHM apresenta poucas informações pela limitação de espaço, o CLP não é mais fabricado, dificultando a sua reposição e manutenção. Além disso, alguns parâmetros são informados pelo operador, o que torna a máquina suscetível a erros de programação.

Para solucionar estes problemas, o presente trabalho apresenta na seção a seguir a solução proposta a partir deste trabalho.

### **3.4 Sistema de Automação Proposto**

Com essa proposta, a empresa não mais ficará refém de assistência técnica do fabricante, reduzindo custos de assistência técnica, além de despesas de viagem e estadia dos representantes técnicos. Objetiva-se, ao obter-se o domínio do sistema desenvolvido, a redução do tempo de máquina parada, pois até então, a empresa dependia da disponibilidade de agenda do técnico terceirizado e do tempo de deslocamento do mesmo para a realização da manutenção.

Para melhor assertividade do projeto, foi feito um estudo das funções existentes, dispositivos existentes, telas de visualizações e ajustes, além dos periféricos que envolvem o sistema, como fusíveis, interfaces de reles, contadoras e outros. Também foi feito um estudo das necessidades operacionais com as pessoas envolvidas na operação, a fim de desenvolver interação mais fácil e amigável para o operador com o novo sistema.

Como visto nas Tabelas 3 a 6, são necessárias dezesseis entradas digitais e dezesseis saídas digitais, contando com as entradas e saídas digitais reservas que já existem no sistema atual; duas entradas analógicas, três saídas analógicas, dois canais para entrada de encoder e uma interface homem máquina (IHM).

Como visto anteriormente, as temperaturas são controladas de forma independente, não fazendo parte do sistema de automação atual. Para melhorar os controles de temperatura e confiabilidade, propôs-se que tal controle seja incluso no novo sistema, integrado com funções de segurança para alarmes e desarme de máquina quando ocorrer desvios.

Sendo assim, a ideia é incorporar os controles de temperatura no CLP. Para isso, além das duas entradas analógicas para atender os potenciômetros de referência da esteira e do motor principal, serão necessárias mais quatro entradas analógicas para os termopares de temperatura que são: cabeçote superior e inferior, solda tipo pingo esquerdo e direito.

Para atender uma das melhorias, que é o controle manual do transporte e acionamento de posição do cabeçote citado anteriormente, serão necessárias mais quatro entradas digitais que receberão contatos de um joystick. Esta melhoria facilitará operacionalmente o acerto de máquina, uma vez que no sistema atual, o operador necessita acessar várias telas da IHM para conseguir acionar manualmente.

Além das entradas digitais para as melhorias, também serão necessárias entradas rápidas para receber os encoders que são mostrados na Figura 29, assim como mais saídas para funções adicionais como: torre de sinal luminoso padrão de três cores, reset remoto de falhas de inversores e servoconversor, e saídas de acionamento dos aquecimentos.

A fim de compilar essas informações, a Tabela 7 apresenta uma relação de entradas e saídas necessárias para a realização deste trabalho.

Tabela 7 - Previsão de entradas e saídas, analógicas e digitais

	PREVISÃO DE ENTRADAS DIGITAIS	PREVISÃO DE SAÍDAS DIGITAIS	PREVISÃO DE ENTRADAS ANALÓGICAS	PREVISÃO DE SAÍDAS ANALÓGICAS
1	ENCODER PRINC (A)	LIVRE	TERMOPAR Z1	PRINCIPAL
2	ENCODER DESB A	IONIZADOR	TERMOPAR Z1	PRINCIPAL
3	ENCODER DESB B	ALIMENTAÇÃO TORRE	TERMOPAR Z2	DESBONINADOR
4	ENCODER PUXADOR (A)	PINGO (VALVULA)	TERMOPAR Z2	DESBONINADOR
5	EMERG. TORRE	EXAUSTOR	TERMOPAR Z3 PINGO	ESTEIRA
6	FIM DE BOBINA	SINAL. AMARELO/BUZINA	TERMOPAR Z3 PINGO	ESTEIRA
7	FOTO	SINAL. RESET	TERMOPAR Z4 PINGO	DRIVER TRANSPORTE
8	LIVRE	AR DE GUIA	TERMOPAR Z4 PINGO	DRIVER TRANSPORTE
9	CICLO	FACA		
10	EMERG. MÁQ.	RESET INVERSOES		
11	PONTO ZERO	FURADOR		
12	SETOR 3 DESBONINADOR	ALINHADOR		
13	LIBERA DESBONINADOR LINEAR	SINAL. VERMELHO		
14	SETOR 1 ESTEIRA	SINAL. VERDE		
15	SETOR 2 CABEÇOTE	Z1 TEMP. SUPERIOR		
16	JOG DESBONINADOR	AR DO ROLO FLUTUANTE		
17	AVANÇO JOISTCK	Z2 TEMP. INFERIOR		
18	RECUA JOISTCK	LIVRE		
19	GIRA PRINC JOISTCK	Z3 TEMP. PINGO DIREITO		
20	PARTE MAQ JOISTCK	Z4 TEMP. PINGO ESQUERDO		
21	RESET EMERGÊNCIA	HAB PRINCIPAL		
22	COM PROBLEMA	HAB DESB		
23	SEMERRO PRINCIPAL	HAB ESTEIRA		
24	SEMERRO DESBONINADOR	LIVRE		
25	SEMERRO ESTEIRA	HAB SERVO TRANS		
26	SEMERRO DRIVER TRNS	LIVRE		
27	SEMERRO SANF			
28	FALHA TEMP TORRE			
29	SEMERRO TANG			
30	ALARME AR DO ROLO FLUTUANTE			
31				
32				

Fonte: Autor (2019).

Para atender a previsão de 30 entradas digitais, 25 saídas digitais, 4 entradas e saídas analógicas, foram analisados os modelos dos CLP da marca Siemens, a fim de manter o padrão utilizado nas demais máquinas da fábrica, colaborando para o menor estoque possível de peças de reposição. A Tabela 8 apresenta a configuração escolhida para atender o novo sistema de automação.

Tabela 8 - Configuração novo sistema de automação

1	CLP Simatic S7-1200F 24VCC com 14 entradas e 10 saídas digitais, mais 2 entradas analógicas incorporadas.
1	IHM ktp 700 basic
1	SM 1231 módulo de sinal de 4 entrada analógica
1	SM 1232 módulo de sinal de 4 saída analógica
1	SM1221 módulo de sinal de 16 entrada digital
1	SM1222 módulo de sinal de 16 saída digital

Fonte: Autor (2019).

### 3.5 Lógica de controle proposta

Com a configuração do sistema de automação definido, deu-se início a etapa de elaboração da lógica de programação. Para isso foi necessário pensar em um ponto de partida, levantando os recursos necessários, para elaboração da estrutura do código que está sendo desenvolvido em linguagem *Ladder*.

Como a principal parte funcional da máquina é o conjunto do eixo central e deste que se originam muitas funções da máquina, decidiu-se dar início pensando em como desenvolver o código para resolver o problema das variáveis envolvidas no momento do transporte e no movimento do cabeçote.

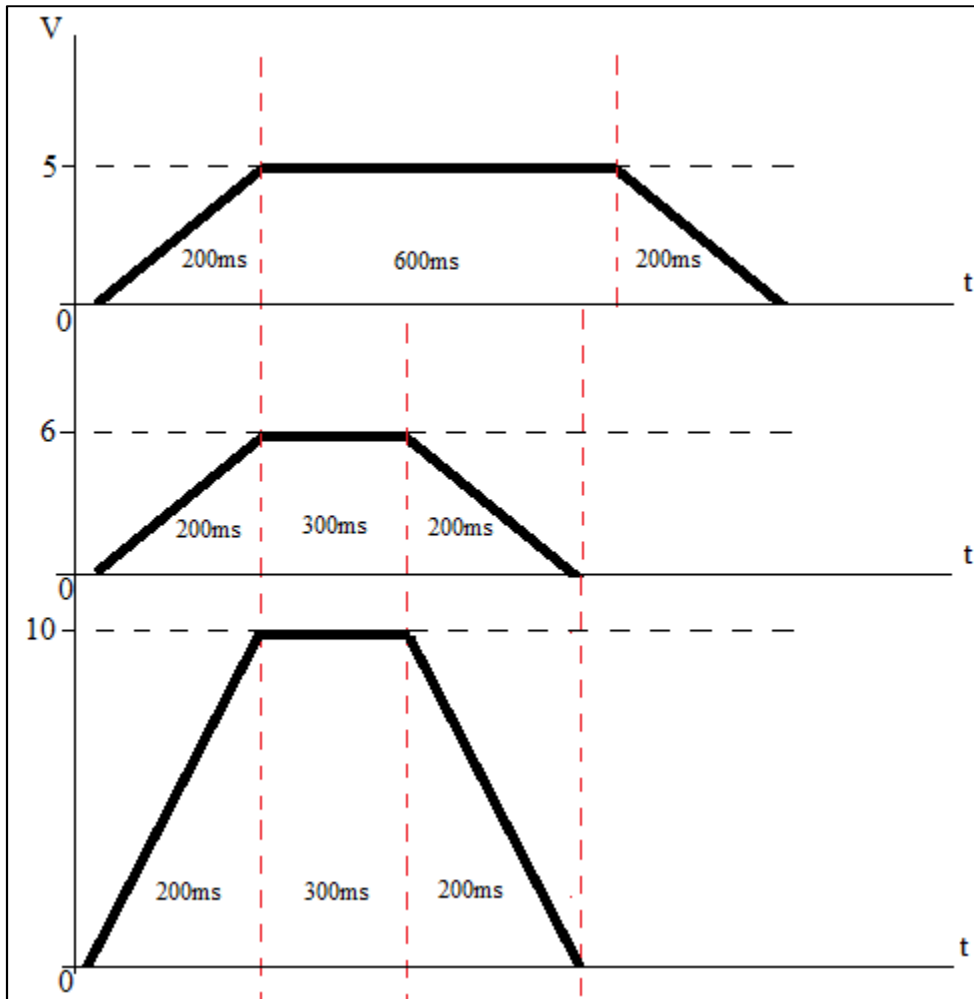
As variáveis que devem ser manipuladas para atender o transporte são:

- Comprimento da embalagem em milímetros (mm);
- Velocidade do ciclo do eixo central que acaba sendo a produção da máquina em cortes por minuto (CPM);
- Velocidade do transporte que deverá ser calculada pelo código, levando em conta os cortes por minuto.

O desafio dessa etapa consiste em definir a relação CPM x transporte x comprimento da embalagem x amplitude e tempo do sinal analógico e elaborar uma rotina lógica que efetue esse cálculo automaticamente, evitando erros humanos e tornando o processo mais eficiente.

Para o transporte mencionado na Figura 29, ainda é preciso ser levado em conta como principal função uma rampa de entrada e uma rampa de saída de 200 ms no sinal analógico linear independente da amplitude ou tempo para suavizar o início e o final do transporte do filme plástico. Esta rampa serve para que, no momento do acionamento do transporte, o filme não sofra solavanco que resulte em erro da leitura da marca da foto célula e, conseqüentemente, erro de posicionamento. A Figura 36 apresenta um exemplo de aplicação desta lógica.

Figura 36 - Exemplo de rampa x sinal analógico



Fonte: Autor (2019).

Para atender os limites de tracionamento da máquina que correspondem ao intervalo de 200 mm a 1200 mm, é necessário que o código calcule as diferentes amplitudes e tempo do sinal de saída analógica do CLP para a entrada do servoconversor em função da velocidade em CPM que vai de 15 a 50 CPM.

O tempo disponível para que o servoconversor acione o transporte do filme vai depender da velocidade de CPM. Quanto menos CPM, mais tempo disponível para transporte e, consequentemente, menor amplitude de sinal analógico. Da mesma forma, quanto mais CPM, menos tempo disponível para o transporte e, consequentemente, mais amplitude de sinal analógico para que o servo consiga transportar o material necessário na janela de tempo de abertura do cabeçote que está mencionado na Figura 29.

Um referencial de ângulo do eixo central será criado no código a fim de servir de ponto de acionamento do momento de início e fim do transporte. Da mesma forma, o

referencial de ângulo servirá para acionar várias outras funções de saídas que foram citadas na Tabela 7 anteriormente.

As especificações aqui apresentadas visam balizar o entendimento dos problemas apresentados na configuração atual da máquina, bem como a estratégia adotada e os componentes necessários para atingir as melhorias propostas neste trabalho. Sendo assim, o capítulo a seguir apresenta os resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho.

### **3.6 Sistema de segurança**

Devido a máquina ter um tempo de uso considerável, ou seja, foi projetada sem exigências de segurança, então pouco ela oferece neste sentido. A proposta de melhoria é em conjunto com a equipe de manutenção da empresa, pois necessita de algumas mudanças estruturais, fabricação de algumas proteções fixas e móveis para impedir acesso a partes móveis que oferecem riscos de esmagamento, riscos de corte e risco de choque elétrico.

Para conter os riscos de esmagamento atendendo a NR12, foi planejada uma mudança estrutural na parte do cabeçote com a construção de um compartimento com portas intertravadas e monitoradas.

Para os painéis elétricos está prevista a adaptação de fechaduras com chaves de acesso somente pelo setor de elétrica, bem como indicação visual como a colocação de adesivos de avisos apropriados para painéis elétricos.

Portas de acesso ao eixo central também foram intertravadas e monitoradas a fim de eliminar o acesso indevido a pontos de esmagamento.

## **4 RESULTADOS**

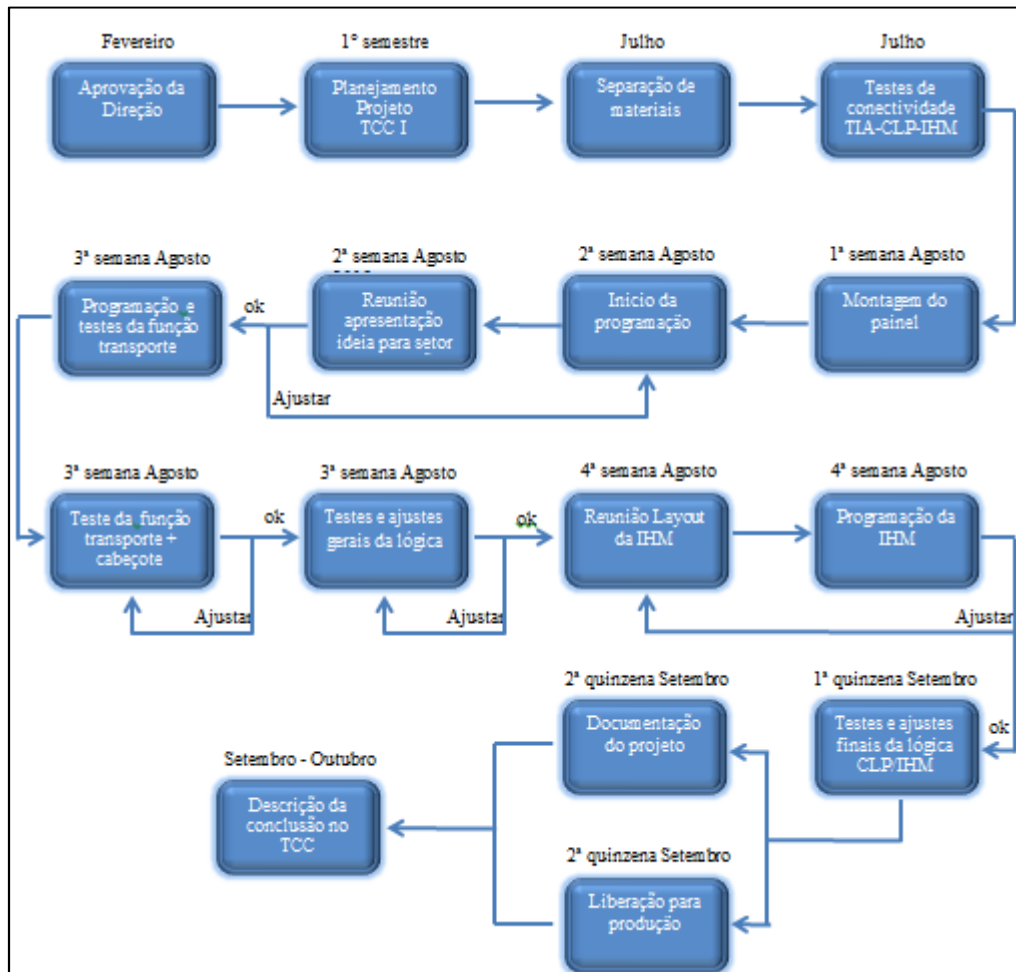
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a realização do presente trabalho. A seção 4.1 descreve o CLP, suas características e expansões. A seção 4.2 descreve brevemente o cronograma desde o início do projeto até o fim. A seção 4.3 relata detalhes da programação do CLP. O item 4.4 apresenta a construção das telas da IHM e detalhes de cada uma delas. Na seção 4.5 está descrita a metodologia adotada para os pré-testes durante a elaboração dos códigos de programação. Na seção 4.6 são apresentados os resultados dos testes finais. Por fim, na seção 4.7 apresenta-se um resumo dos investimentos do projeto.

### **4.1 Cronograma de Projeto**

Foi iniciada a execução seguindo o planejamento deste documento. Na Figura 37 é possível verificar como foi a metodologia para o desenvolvimento dos passos da execução deste trabalho descrito.



Figura 37 - Organograma do planejamento do trabalho



Fonte: Autor (2019).

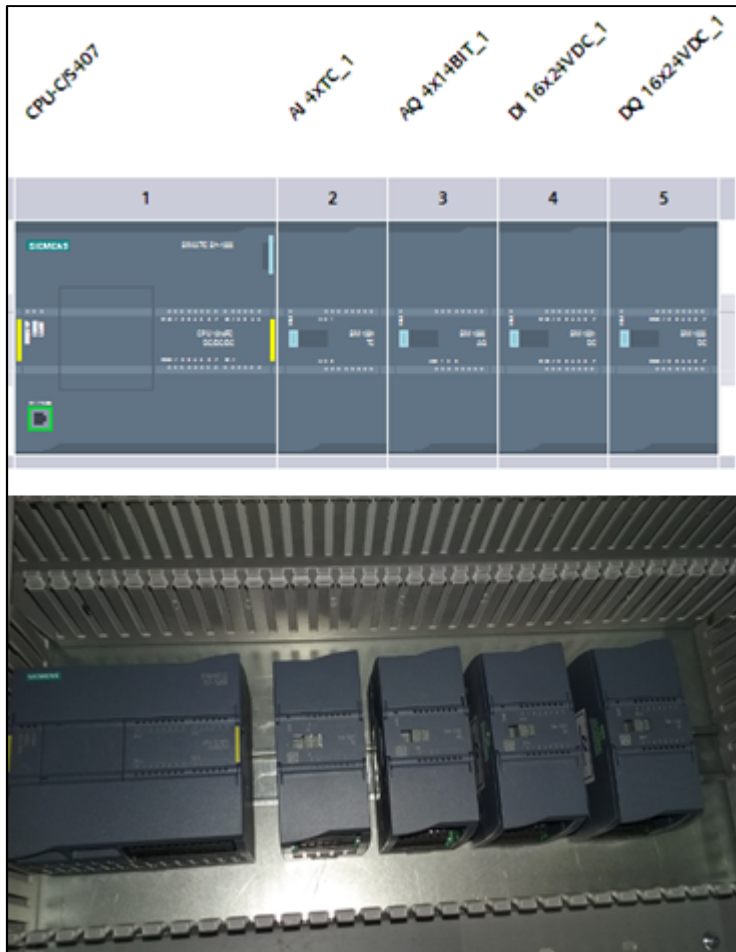
## 4.2 Controlador lógico programável (CLP)

Para atender as necessidades de substituição do antigo controlador, foi selecionado o CLP S7-1200 da marca Siemens com CPU1214FC, o qual a empresa dispunha em estoque como padrão, pois é utilizado em outras máquinas, em especial nos trabalhos de adequação a NR12 no parque fabril.

Além do CLP, ainda estava disponível no estoque os módulos de entradas analógicas AI 4xTC\_1, entrada digital DI 16x24VDC\_1, módulos de saídas digitais DQ 16x24VDC\_1 e o módulo de saída analógica AQ 4x14BIT\_1, assim colaborando com a viabilidade e aprovação do projeto devido a sua necessidade e a facilidade de reposição dos componentes por já ser em comum no estoque.

Na Figura 38 é possível ver a topologia da montagem do controlador, assim como a montagem no chassi ainda em andamento.

Figura 38 - Topologia da montagem do CLP



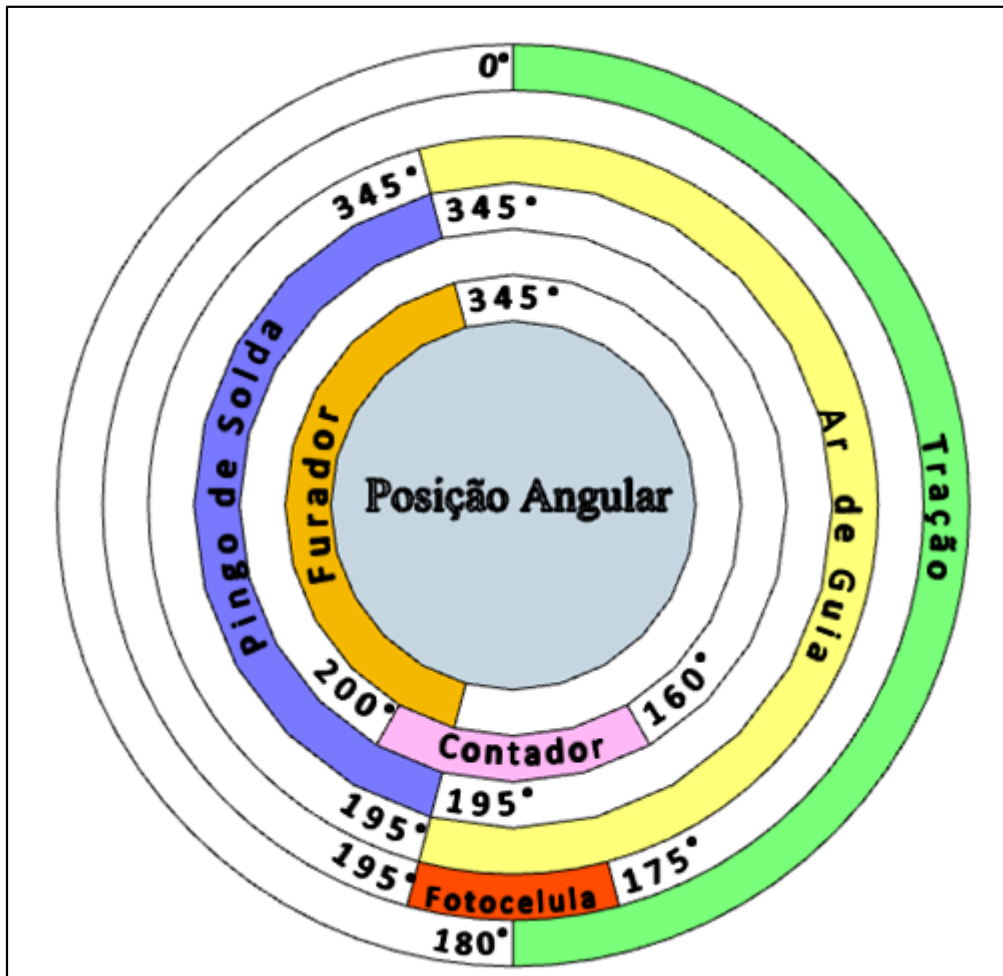
Fonte: Autor (2019).

### 4.3 Programação do CLP

Após analisado minuciosamente o funcionamento da máquina e tendo compreendido o funcionamento mecânico, a automação, a interação e necessidades do operador com a máquina, decidiu-se como seria desenvolvido e estruturado os programas do CLP e da IHM.

Foi visto que vários acontecimentos na máquina são provenientes do movimento do eixo central que pode ser visto na Figura 39 mostrando a posição angular do eixo e as funções acionadas a cada posição.

Figura 39 - Funções e posição angular do eixo central



Fonte: Autor (2019).

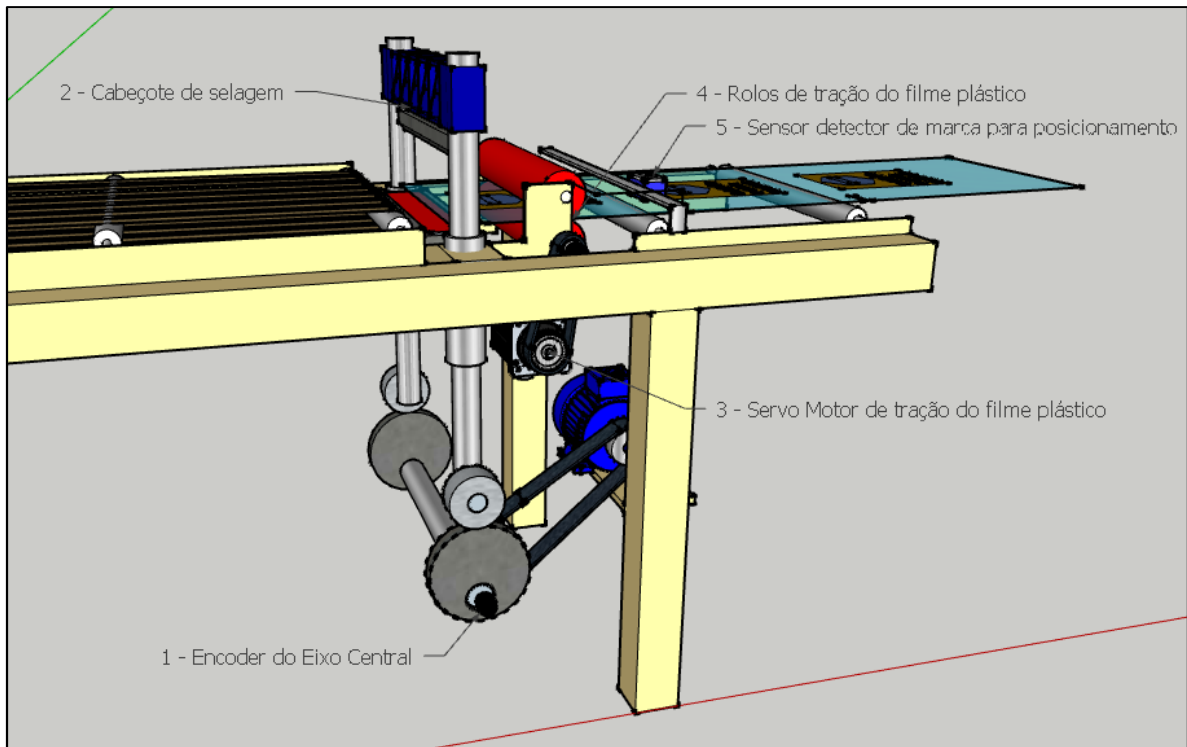
O eixo central é referenciado em ângulo, sendo que  $0^\circ$  corresponde ao início de um ciclo e  $359^\circ$  corresponde ao final de ciclo da máquina, ou seja, a produção de uma embalagem plástica. A velocidade deste ciclo representa a produção da máquina em CPM (Cortes Por Minuto).

Com essa definição foi decidido começar o código de programação no CLP por um recurso que processasse uma entrada de contagem rápida para encoder, que representasse a posição angular do eixo central mostrado na Figura 39. Essa referência foi usada para acionar ou habilitar cada função da máquina no tempo certo a cada ciclo de máquina.

Na Figura 40 é possível observar que o cabeçote de selagem está aberto, representando sua posição em  $180^\circ$ . Já na Figura 40 é possível observar o cabeçote na posição fechado, ou

seja, posição de selagem em  $0^\circ$ . Sendo assim, o cabeçote permanece metade do tempo aberto e metade do tempo fechado, selando a embalagem.

Figura 40 - Conjunto tração e selagem da máquina de corte solda de plástico



Fonte: Autor (2019).

Utilizando como referência o ângulo do eixo central, uma saída do CLP foi destinada para comandar o movimento do conjunto servomotor, com início em  $0^\circ$  e fim em  $179^\circ$ . É neste momento que o servomotor transporta e posiciona o filme plástico sob o cabeçote.

Quando a posição está entre  $180^\circ$  e  $359^\circ$ , o CLP desabilita o sinal e corta o movimento do servomotor, realizando o processo de selagem e o corte do filme, formando a embalagem ou saco plástico, conforme é possível ver na Figura 40.

Para embalagens que não contém impressão, chamadas de embalagens lisas, não é necessário o uso da fotocélula, uma vez que não é necessário posicionamento preciso da embalagem sob o cabeçote de solda. Sendo assim, neste modo de funcionamento de máquina, não foi citado o uso nem a função fotocélula.

#### 4.3.1 Puxada do servomotor

Para a puxada do servomotor, foi necessário levar em conta duas variáveis de ajuste de processo que são ajustadas frequentemente, que são a velocidade de máquina e comprimento da embalagem.

De forma objetiva, tem-se que se o cabeçote ficar menos tempo aberto, é necessária mais velocidade no servomotor para conseguir transportar a mesma quantidade de material e vice-versa.

Também precisou ser considerada a relação do tamanho de embalagem com o tempo de cabeçote aberto, pois o tamanho da embalagem influencia diretamente na velocidade do servo, uma vez que, quanto maior a embalagem, maior a velocidade do servo para concluir o transporte do material.

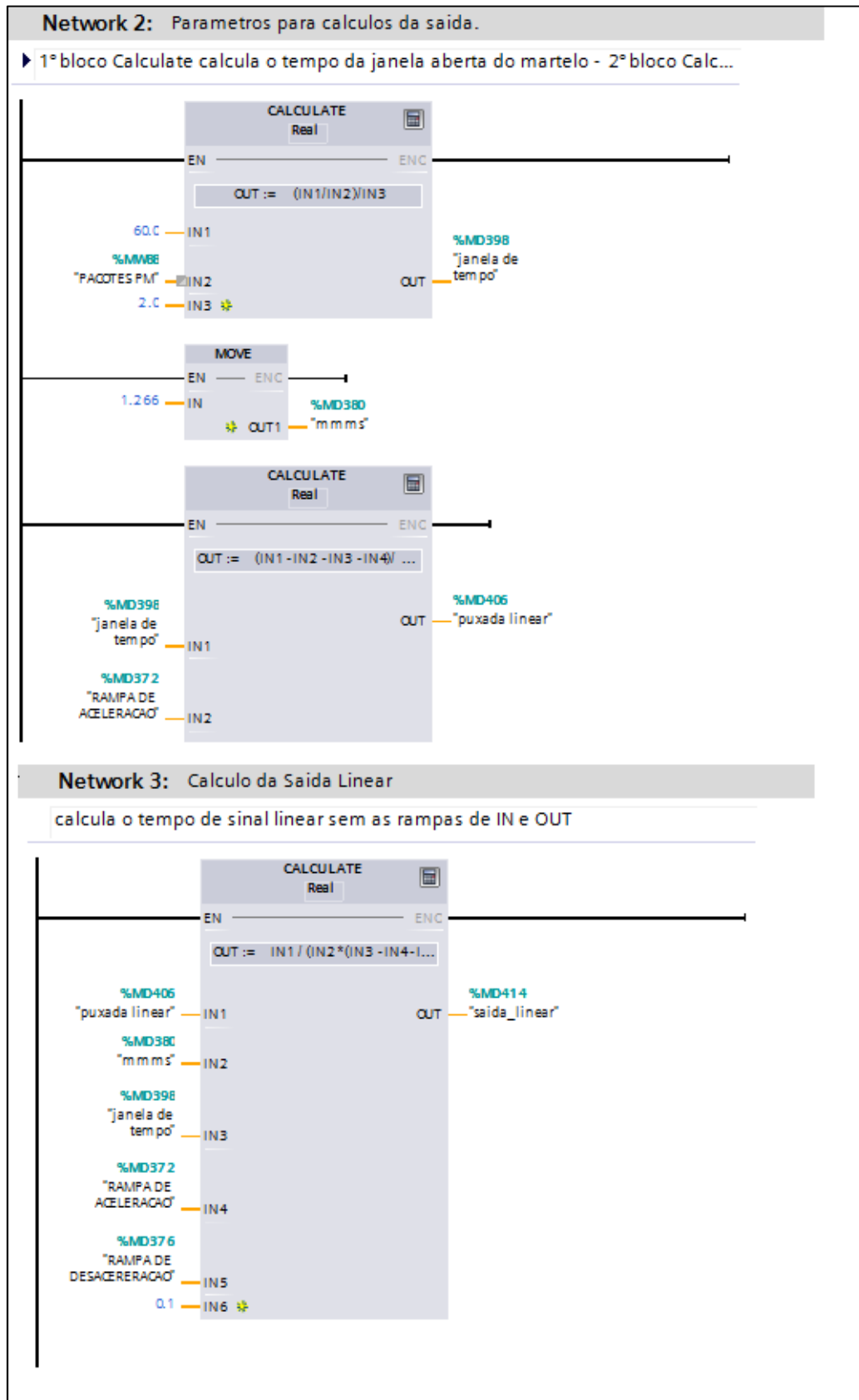
Conforme mencionado anteriormente, outra característica muito importante que precisou ser trabalhada foi uma rampa de aceleração na entrada e desaceleração na saída do servomotor. Essa rampa faz-se necessária para não haver solavancos no filme plástico, evitando interferências no funcionamento do balancim, na estabilidade da leitura da fotocélula e, principalmente, na precisão da parada de posicionamento.

O ponto crucial do código do programa foi justamente a implementação da rampa, onde foi necessário relacionar todas as variáveis citadas. Analisando o funcionamento original da máquina, identificou-se o tempo de aceleração e desaceleração da puxada através de um osciloscópio. Constatou-se que esta rampa era de 150ms, independente da velocidade da máquina ou comprimento de puxada. Também foi extraída a informação da relação milímetros por volt do servomotor no sistema antigo, que serviu de parâmetro para calcular no código o nível de tensão da saída analógica do CLP para o drive do servomotor. Para tanto, foi injetada uma tensão conhecida no conjunto servomotor antigo. A partir disso, foi medido no rolo de tração, a velocidade perimetral em metros por minuto com ajuda de um tacômetro, obtendo-se o valor de 1,266 mm/V.

Por fim, foi preciso definir o tempo disponível de cabeçote aberto, a fim de poder calcular no código o nível de tensão em relação tempo na saída analógica do CLP. Isto é necessário para calcular o tempo das rampas de aceleração e desaceleração e parte linear do sinal de saída do CLP.

Na Figura 41 é possível ver parte do código responsável pelo cálculo da puxada do servomotor.

Figura 41 - Parte do código do cálculo da puxada



Fonte: Autor (2019).

### 4.3.2 Controle por Fotocélula

O filme plástico, quando tensionado na passagem da máquina, sofre deformação, alterando seu tamanho em até cinco milímetros, dependendo do tipo de estrutura.

Este tensionamento altera o tamanho do passo da impressão, ou seja, uma impressão com 280 mm, quando tensionado em máquina pela simples passagem pelos roletes e balancim da máquina, pode chegar até 285 mm e variar a cada repetição de embalagem entre 280 e 285 mm durante o processo de corte e solda.

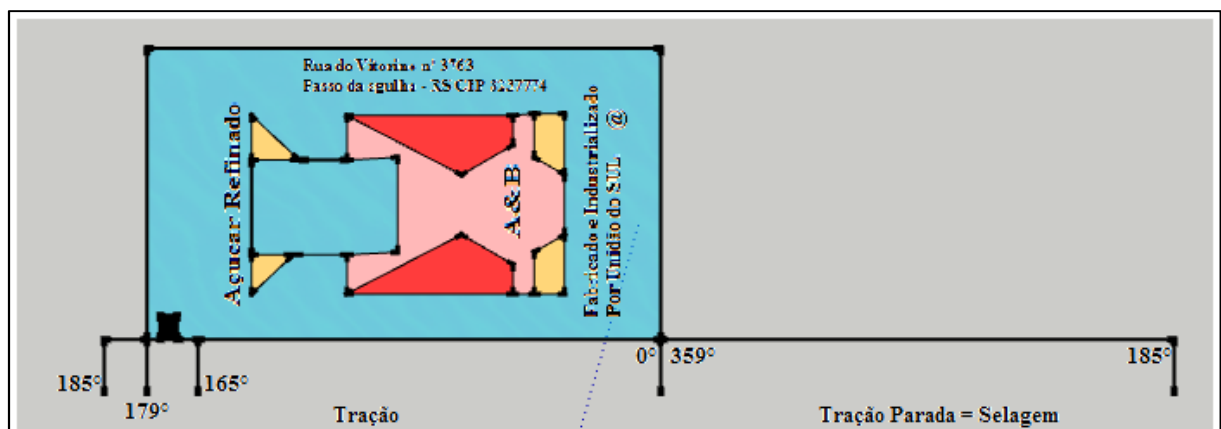
Portanto, se foi programada uma puxada de tamanho 280 mm e o filme chegar com 285 mm no momento do corte e solda, a impressão não ficará posicionada no lugar devido para a selagem.

Para conseguir o correto posicionamento ou a correção do tamanho, é utilizado um sensor ótico capaz de ler diferença de contraste das cores impressas, tornando possível gravar uma cor em qualquer área do filme plástico.

A fotocélula pode ser habilitada operacionalmente, de acordo com a necessidade. Se for um filme plástico impresso é necessário ligar a fotocélula. Caso seja um filme liso sem impressão, a mesma deve ser desligada.

No programa do CLP, a janela angular que recebe o sinal da fotocélula fica na transição entre o final da puxada do servo motor e início da parada do servo como pode se observar na Figura 42 a seguir.

Figura 42 - Representação da janela de atuação da fotocélula



Fonte: Autor (2019).



Dessa forma, o sinal da fotocélula somente será considerado no final da puxada e, quando detectar a cor gravada, será enviado o sinal para o CLP que comandará a parada com o correto posicionamento do filme, realizando na sequência a solda e o corte.

Enquanto que o filme estiver tracionando, a fotocélula até poderá detectar a cor gravada em outros pontos da embalagem, porém o sinal será ignorado, pois está fora da janela de leitura angular que corresponde de 165° a 185°.

Ainda em relação a fotocélula, foi criada a função busca foto, que no sistema antigo não havia. Essa função é um recurso para que o operador encontre e posicione a marca da foto automaticamente somente apertando um botão na IHM, quando no sistema antigo era necessário navegar na pequena tela, liberar o modo manual e posicionar a marca da fotocélula acionando manualmente a puxada para frente e para traz.

#### **4.3.3 Ar de guia**

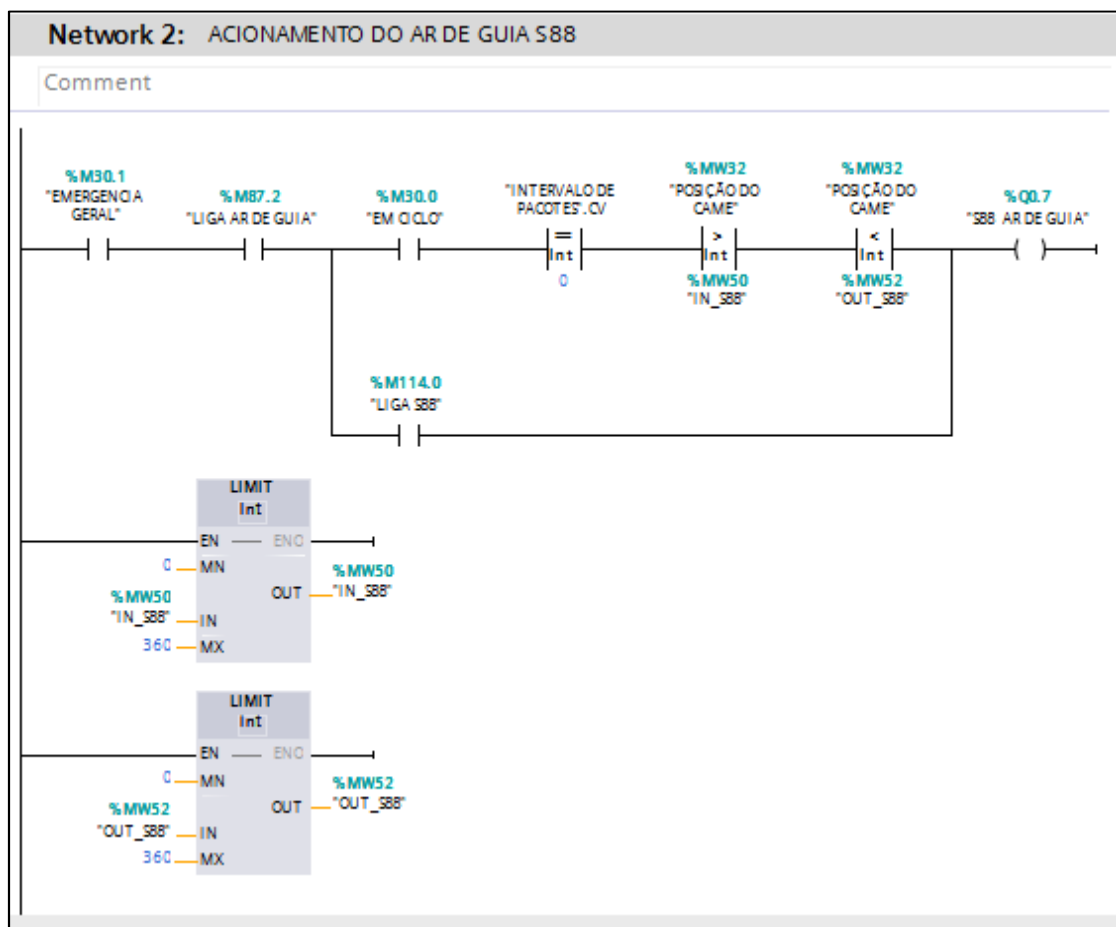
O ar de guia é um dispositivo em forma de pente com saídas de ar comprimido que se estende paralelamente com o rolo puxador e fica posicionado rente ao filme plástico.

O funcionamento do ar de guia é necessário para auxiliar o transporte e o resfriamento do filme após o corte e solda a fim de não deixar o mesmo grudar na mesa da máquina.

Visto sua função, é necessário que o ar de guia atue no momento certo, uma fração de tempo antes de iniciar a tração e uma fração de tempo depois da tração, correspondendo a posição angular entre 345° (liga) e 195° (desliga).

A Figura 43 mostra o código responsável pelo acionamento do ar de guia.

Figura 43 - Parte do código de acionamento do ar de guia



Fonte: Autor (2019).

Se o ar de guia não funcionar, o filme após o corte e solda ficará grudado na mesa e embolará na próxima tração do filme.

Na Figura 44 é possível ver o pente do ar de guia.

Figura 44 - Acessório ar de guia



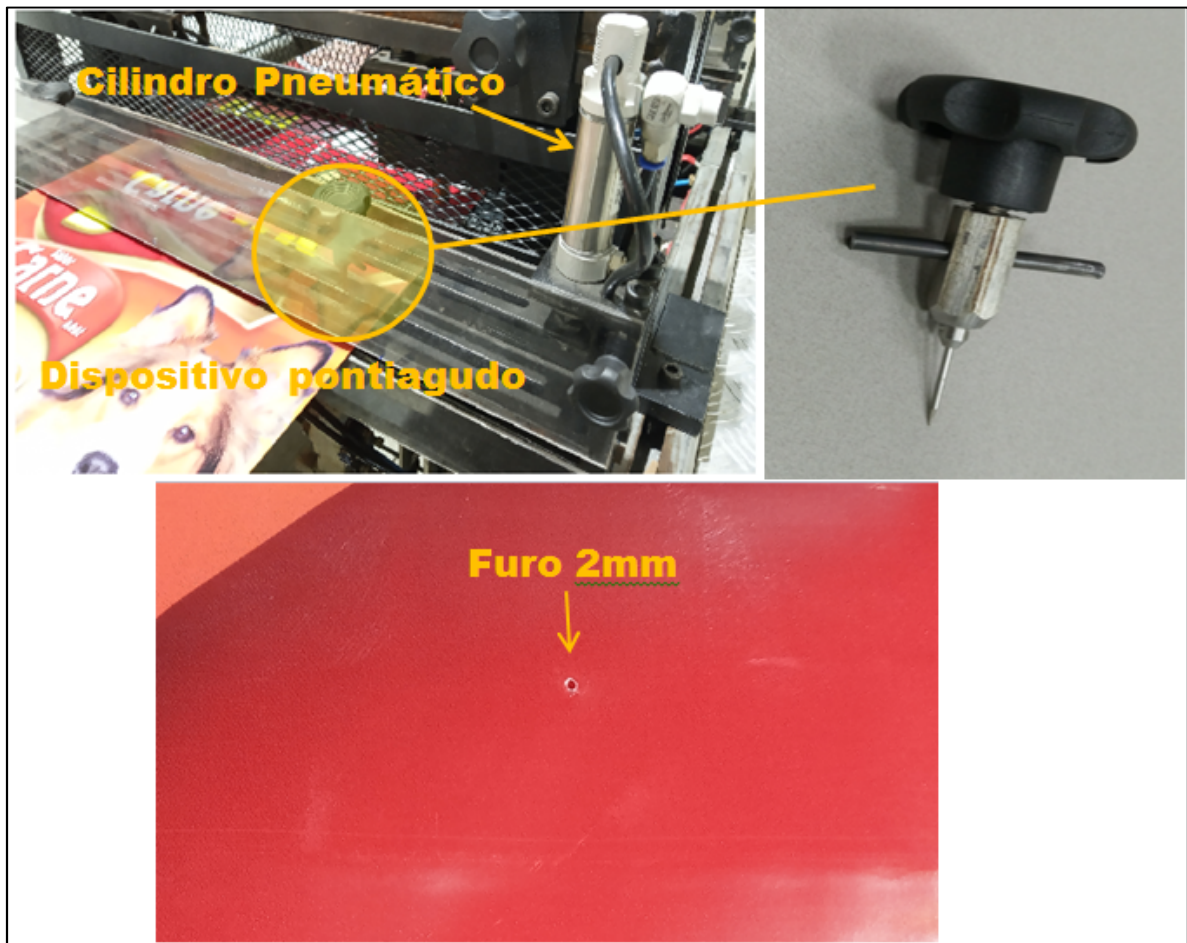
Fonte: Autor (2019).

#### 4.3.4 Acessório Furador

O furador é um acessório que é usado conforme a necessidade do cliente, portanto é permitido que o operador habilite ou desabilite o funcionamento do mesmo.

Este dispositivo pode ser um vazador redondo, um pino pontiagudo ou qualquer outro formato que vai acoplado a um pequeno cilindro pneumático acionado por uma eletroválvula, conforme pode ser observado na Figura 45, com um dispositivo pontiagudo formando um furo de 2 mm na embalagem.

Figura 45 - Acessório furador

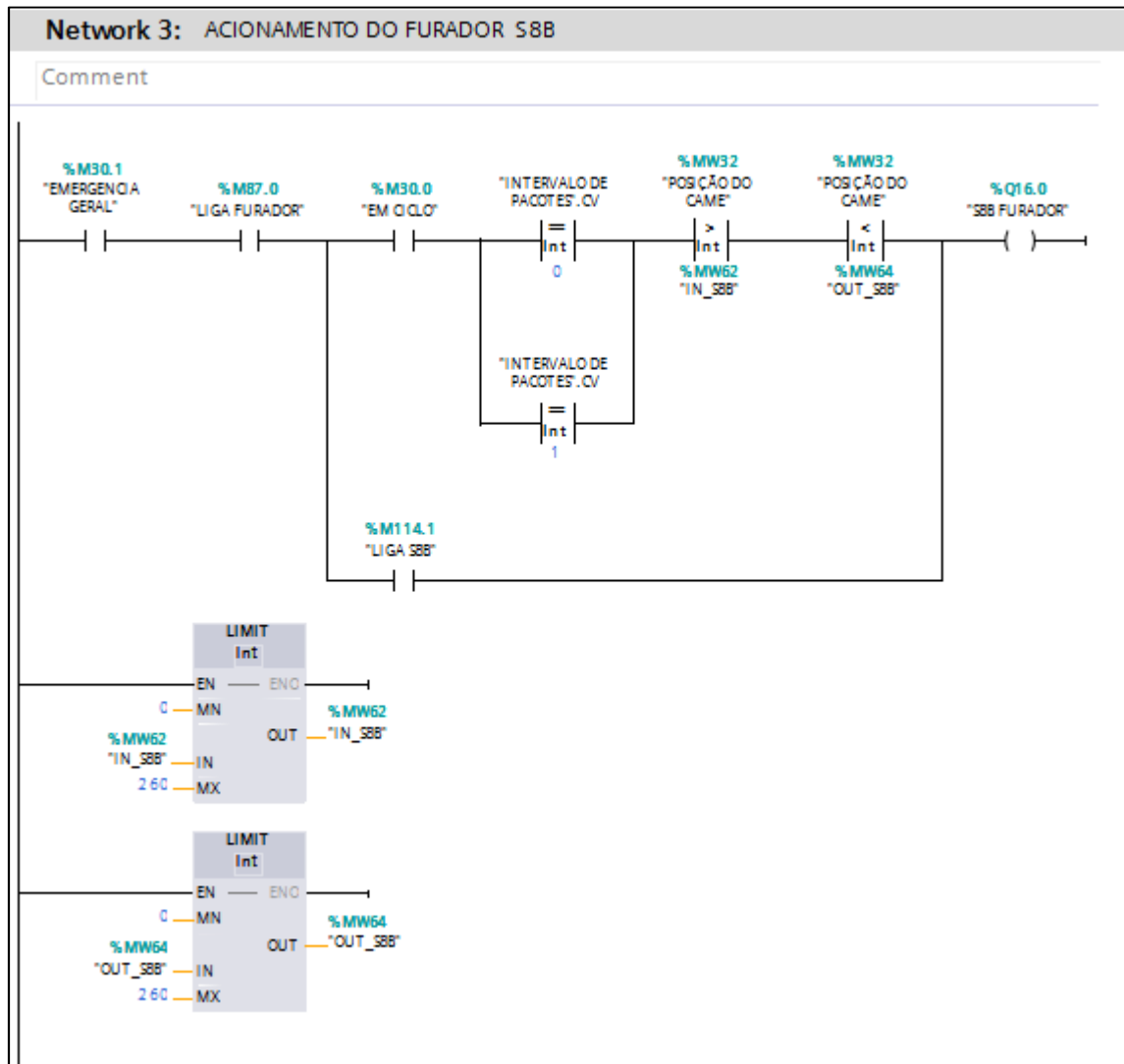


Fonte: Autor (2019).

Como o furador fará uma inserção no filme plástico, é preciso que ele acione no momento correto, quando o filme plástico se encontra parado, que corresponde a posição angular de início  $195^\circ$  e fim da atuação em  $345^\circ$ . Fora desses valores, o filme enroscará no furador e arrebentará.

Na Figura 46 é possível ver o código responsável pelo acionamento do furador.

Figura 46 - Parte do código do furador

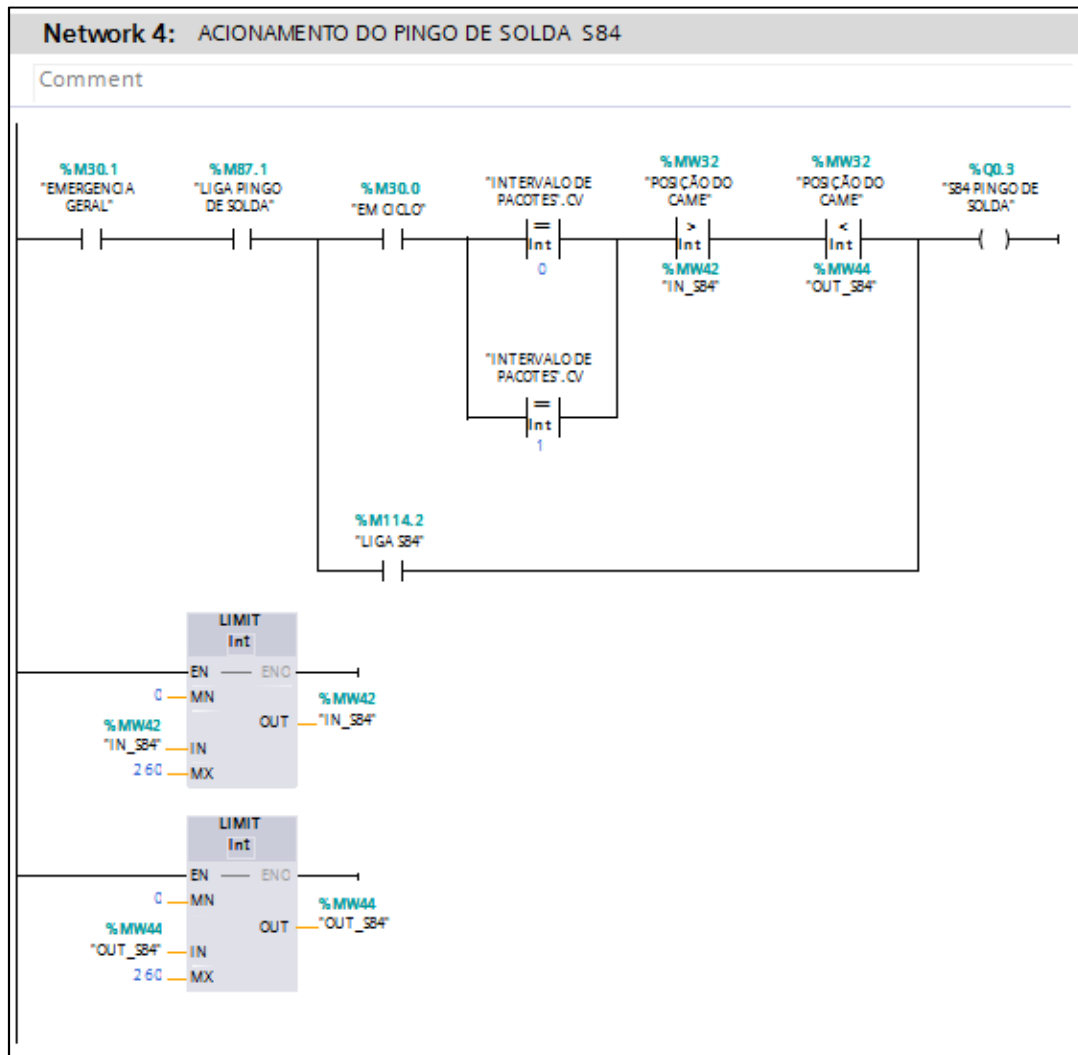


Fonte: Autor (2019).

#### 4.3.5 Acessório pingo de solda

Este dispositivo serve para deixar a sanfona de uma embalagem tipo *stand up* formada. Trata-se de uma ponteira aquecida em torno de 200°C que precisa ser acionada no momento em que o filme plástico estiver parado, que corresponde a posição angular de início 195° e fim da atuação em 345°. Na Figura 47 pode ser observado o código responsável pelo acionamento deste acessório.

Figura 47 - Parte do código do pingo de solda



Fonte: Autor (2019).

O pingo de solda está acoplado a um pequeno cilindro pneumático, e também pode ser habilitado e desabilitado pelo operador, conforme necessidade de uso deste recurso.

Na Figura 48 é possível ver o dispositivo pingo de solda, aplicado na embalagem formando a sanfona.

Figura 48 - Acessório pingo de solda



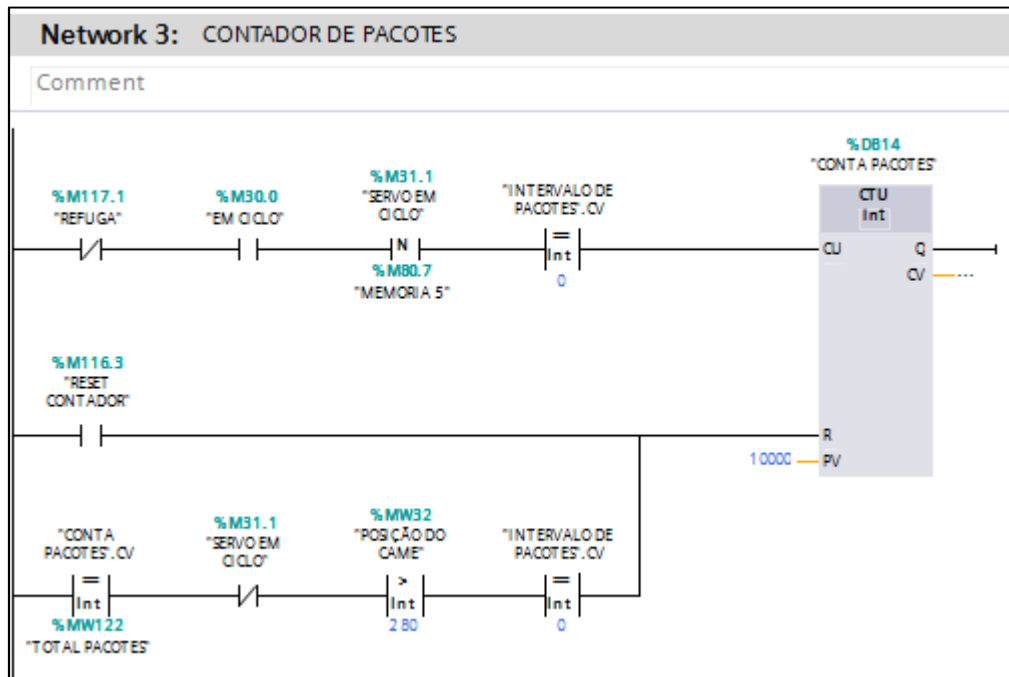
Fonte: Autor (2019).

#### 4.3.6 Contador

A função contador serve para contagem parcial de embalagens cortadas, por pacote, produção e acumulada geral, a cada passagem pela posição angular entre 160° a 200° angular, ou seja, sempre que houver um corte de embalagem que corresponde a um ciclo de máquina incrementa o contador.

Na Figura 49 pode ser vista parte do código do contador e algumas condições lógicas da funcionalidade como exemplo, refuga, caso o operador necessite no meio do processo, fazer ajuste em máquina, que não se aproveitará as embalagens, ele aciona o botão refuga, que irá inibir a contagem.

Figura 49 - Parte do código do contador



Fonte: Autor (2019).

#### 4.3.7 Acionamento motor principal

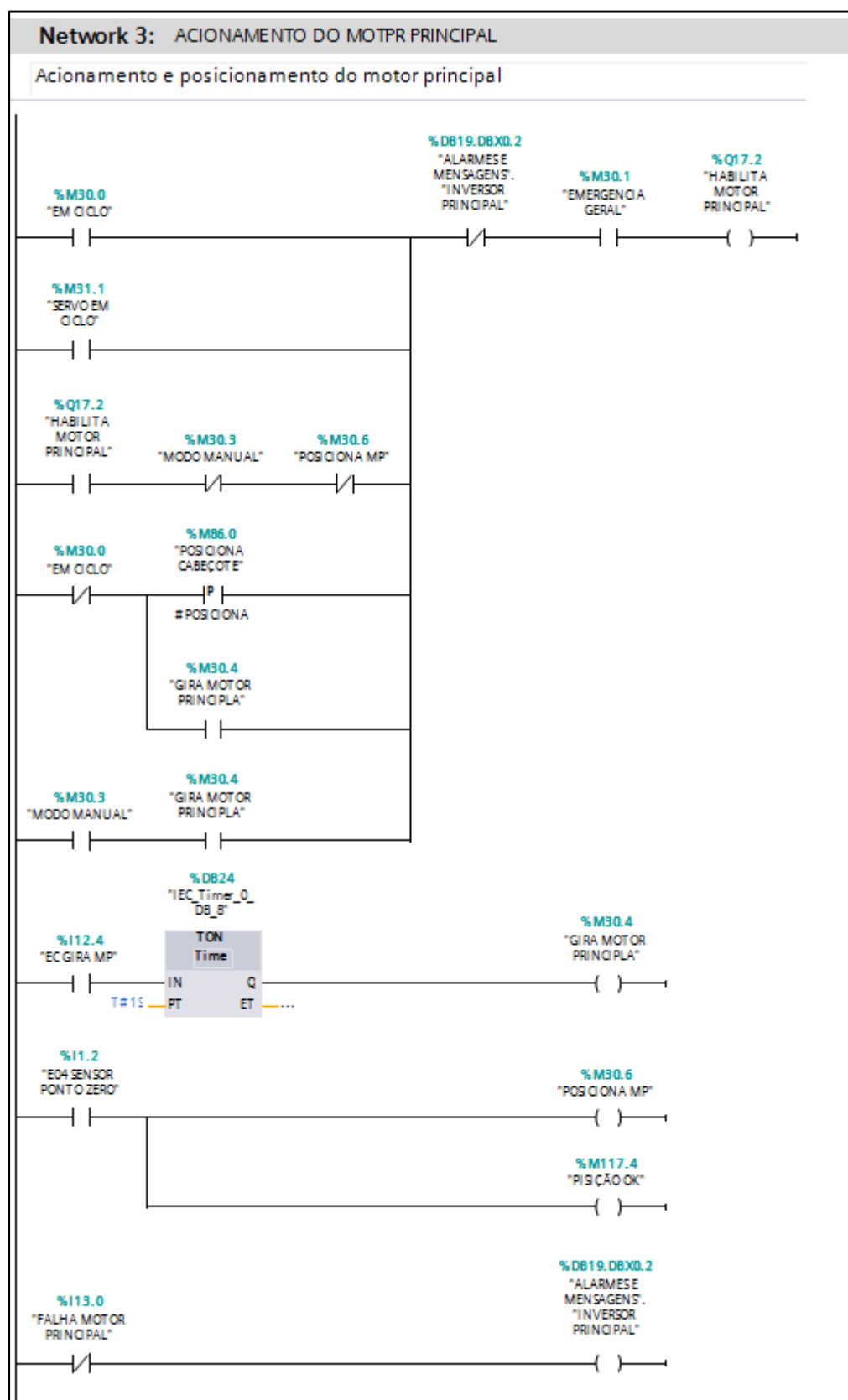
O motor principal é responsável pela velocidade de ciclo da máquina, chamada de cortes por minuto (CPM), ou seja, a quantidade produzida depende da velocidade do motor principal.

O cabeçote de solda é movimentado pelo motor principal. Sabendo que o cabeçote não pode parar na posição de solda (180°) pois a temperatura do cabeçote pode danificar ou empenar a mesa de solda, alguns cuidados precisaram ser observados, como a posição de parada do motor principal.

Na Figura 50 é possível ver parte do código de posicionamento de parada do motor principal, junto ao código modo de acionamento ou posicionamento manual do motor principal.



Figura 50 - Parte do código do acionamento do motor principal



Fonte: Autor (2019).

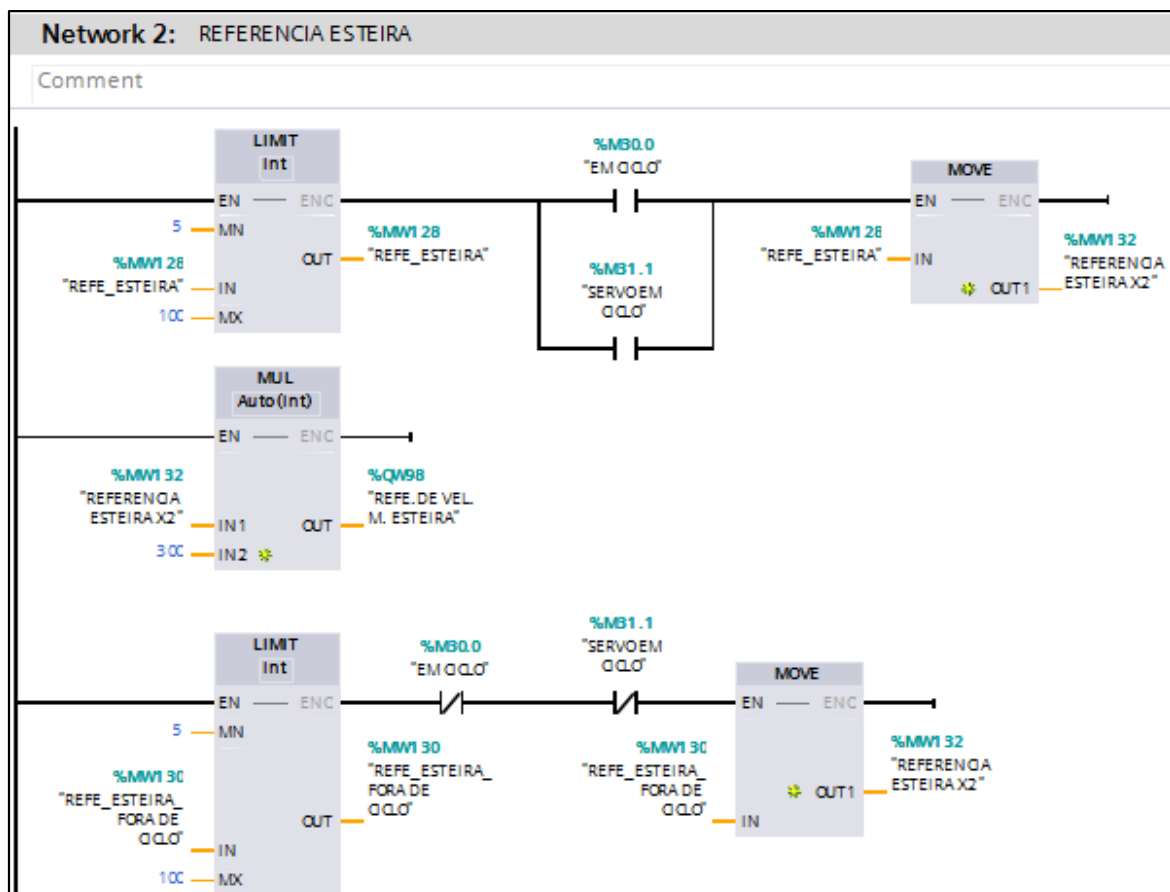
### 4.3.8 Acionamento da esteira

A esteira responsável por transportar a embalagem já pronta para fora da máquina era um acionamento simples que na originalidade da máquina possuía somente liga e desliga. Agora uma importante melhoria foi implementada.

É possível observar na Figura 51 a parte do código do acionamento da esteira em sua originalidade de funcionamento e ainda a implementação da melhoria que trata da redução da velocidade da esteira quando a máquina for parada.

Esta melhoria faz com que a velocidade da esteira que antes era contínua, em aproximadamente 100 RPM seja reduzida para 10 RPM no momento de parada.

Figura 51 - Parte do código de acionamento da esteira



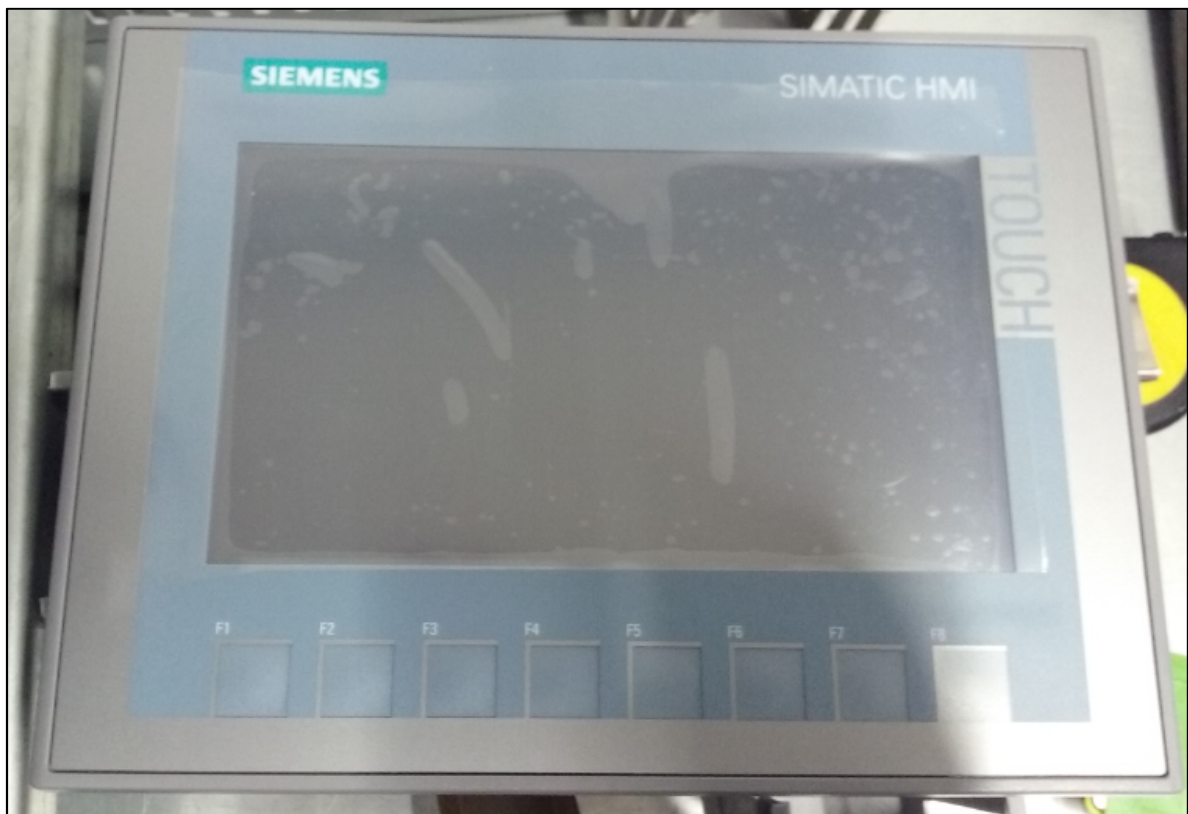
Fonte: Autor (2019).

#### 4.4 Interface homem máquina (IHM)

A IHM foi definida a fim de atender as necessidades de produção, principalmente as melhorias propostas, não somente a nível operacional, mas também manutenção e recursos.

O tamanho de 7" colorida da IHM KTP 700 *basic*, conforme a Figura 52, atendeu muito bem as necessidades operacionais uma vez que várias informações de processo puderam estar dispostas na mesma tela com dimensões de 214 x 158 mm, quando na anterior era apenas um display de 4 linhas por 16 colunas de caracteres.

Figura 52 - IHM ktp 700 *basic* Siemens



Fonte: Autor (2019).

Esta IHM é sensível ao toque, proporcionando agilidade nas operações e transições de telas que podem ser configuradas ou programadas intuitivamente para o operador. Além disso, seu display é colorido e possui iluminação e a capacidade de memória permite armazenar até 100 telas. As seções a seguir apresentam as telas desenvolvidas para este projeto.

#### 4.4.1 Tela de operação

A tela de operação, também conhecida a nível operacional como tela principal, apresenta as principais informações do processo, bem como permite o acesso a demais telas do sistema. O conjunto de informações exibido nesta Tela é modificado de acordo com a situação do processo em tempo real. A Figura 53 apresenta tais variações desta tela.

Figura 53 - Tela de operação e suas variações



Fonte: Autor (2019).

Como pode ser visto na Figura 53, em produção normal, prevalece a contagem em destaque no campo azul. Com dois toques rápidos neste campo, o mesmo é ocultado e a tela mostra informações gerais de contagem e parâmetros.

Caso haja necessidade de acionar o refugo de embalagens, a contagem de embalagens aparecerá em um campo em vermelho.

Também nesta tela principal, no canto inferior direito, dependendo do evento, aparecerá uma mensagem de advertência, que pode ser parada por perda de foto, pacote completo, temperatura alta ou baixa.

Uma melhoria importante foi feita em relação aos modos manual e automático que pode ser visto na tela de operação na Figura 53.

No modo automático a máquina está pronta entrar em ciclo e, em qualquer situação de falha prevista, ela para.

No modo manual, o operador consegue acionar o motor principal que movimenta o cabeçote independentemente, avançar e recuar o filme plástico com a movimentação do servomotor que traciona o filme, recurso importante utilizado no *setup* e quando há rompimento do filme plástico.

No sistema antigo (FIGURA 54), é possível ver a tela de acionamento do modo manual e na Figura 55 foi implementado um *joystick*, de quatro posições, para facilitar o manuseio no momento do *setup*.

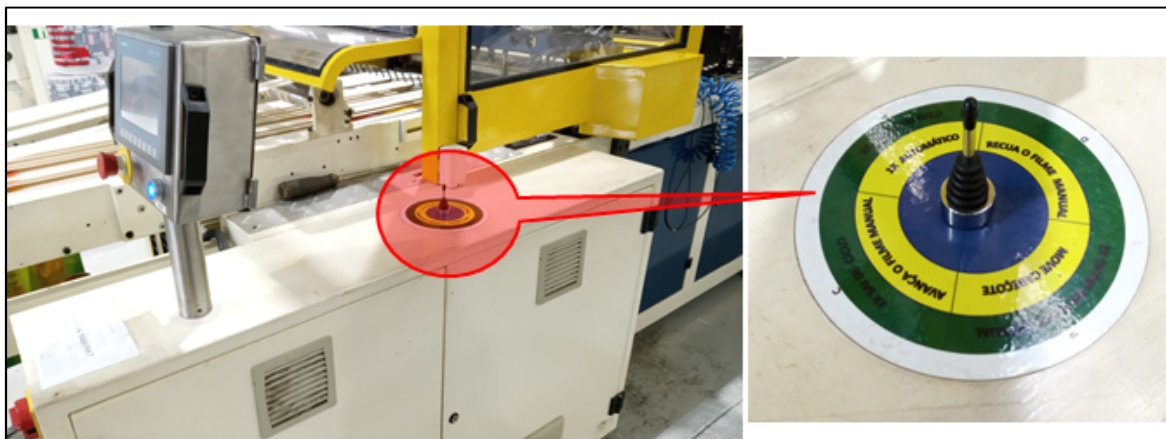
Por fim, na parte inferior da tela, tem botões de atalho que direcionam o operador para outras telas, de configuração e parametrização de funções da máquina.

Figura 54 - Tela de acionamento antigo de modo manual



Fonte: Autor (2019).

Figura 55 - Novo acionamento modo manual com *joystick*



Fonte: Autor (2019).

#### 4.4.2 Tela de acessórios

Nesta tela, como pode ser visto na Figura 56, é possível ligar e desligar os acessórios existentes, conforme a necessidade do produto. Também é permitido que o operador faça ajustes do momento do acionamento.

Figura 56 - Tela de acessórios

ACESSÓRIOS			ÂNGULO		0000
			INICIO	FIM	TEMPO
TEMPO DE SOLDA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	00
FACA PNEUMÁTICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
AR DE GUIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
PINGO DE SOLDA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
FURADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
POUCH	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
PRE-SOLDA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OFF	000	000	
VOLTAR					

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Fonte: Autor (2019).



É importante frisar que o CLP permitirá que o operador faça ajustes de valores dentro da faixa determinada no código correspondente a posição angular de cada acessório, como exemplo, para o furador, o operador conseguirá inserir valores entre 195° e 345°.

Aproveitando a oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, foram desenvolvidas algumas funções extras nesta tela que não serão utilizadas nesta máquina, mas sim em outra máquina do parque fabril, para a qual iremos replicar a mesma solução. Sendo assim, a IHM estará programada para ser cambiável entre as máquinas, agilizando a manutenção.

#### 4.4.3 Tela de ajustes de produção

Nesta tela, apresentada na Figura 57, foram inseridas funções e parâmetros de produção, permitindo que o operador ligue e desligue componentes básicas como fotocélula, exaustão, alinhador, ionizador, etc.

Figura 57 - Tela de ajustes de produção

A tela de ajustes de produção, intitulada "AJUSTES DE PRODUÇÃO", apresenta os seguintes elementos:

- TOTALIZADOR:** Campo numérico com o valor "00000" e um botão "RESET" adjacente.
- PACOTE:** Campo numérico com o valor "000000".
- ESTEIRA:** Campo numérico com o valor "000" e um botão "OFF" (desligado).
- INTERVALO DE PACOTE:** Campo numérico com o valor "00".
- FALHAS DE FOTO:** Campo numérico com o valor "0".
- JANELA DA FOTO:** Campo numérico com o valor "00".
- GANHO DO DESB.:** Campo numérico com o valor "000".
- HABTA FOTO:** Indicador de status com um botão "OFF" (desligado).
- EXAUSTOR:** Indicador de status com um botão "OFF" (desligado).
- ALINHADOR:** Indicador de status com um botão "OFF" (desligado).
- IONIZADOR:** Indicador de status com um botão "OFF" (desligado).
- VOLTAR:** Botão de navegação para retornar ao menu anterior.
- Botões de Função (F1-F8):** Uma barra de botões numerados de F1 a F8 na base da tela.

Fonte: Autor (2019).

Nos campos de parametrização como pode ser observado na Figura 57, o operador pode informar o valor de intervalo de pacote.

O valor informado no campo fará com que a máquina deixe de puxar a embalagem tantas vezes o valor programado, sem parar o motor principal que movimenta o cabeçote quando acontecer o fechamento da quantidade de embalagens, essa função serve para destacar visualmente e para que se permita retirar o pacote de embalagens sem misturar com a contagem do próximo pacote.

Erro de foto é quando a máquina realiza uma puxada de embalagem e, no momento da posição angular correspondente a fotocélula, não há sinal de detecção da fotocélula. Para a falha de foto, o operador ajusta o valor de quantas embalagens é aceitável com erro de foto. Caso o erro de foto ultrapasse o valor programado, a máquina irá parar.

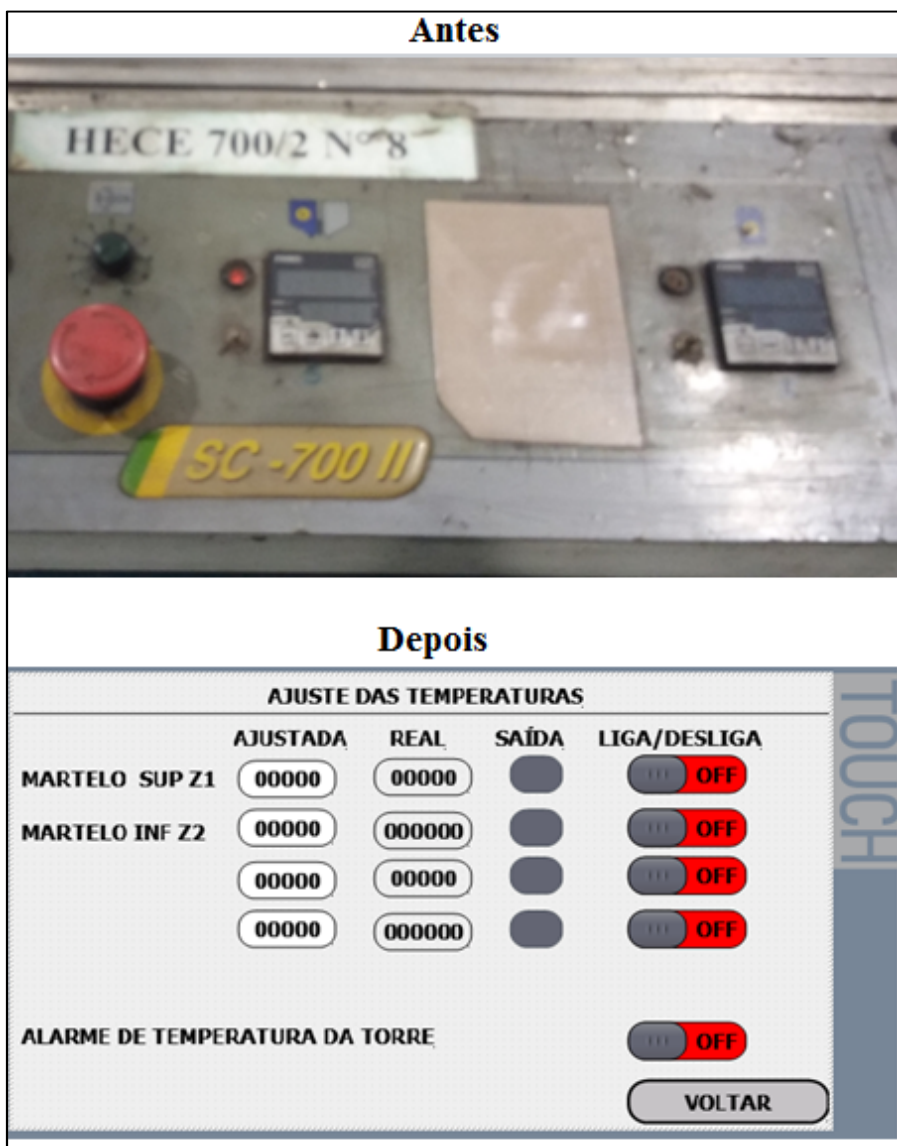
#### **4.4.4 Tela de ajustes de temperatura**

A tela e a função de temperatura num todo, foram uma melhoria em relação ao controle de temperatura original que era realizado com controladores de temperatura independentes, separados da tela de operação, sem praticidade de ajustes.

Na Figura 58 é possível ver os controles de temperatura antes e depois da implementação de melhoria.



Figura 58 - Controladores de temperatura antes e depois



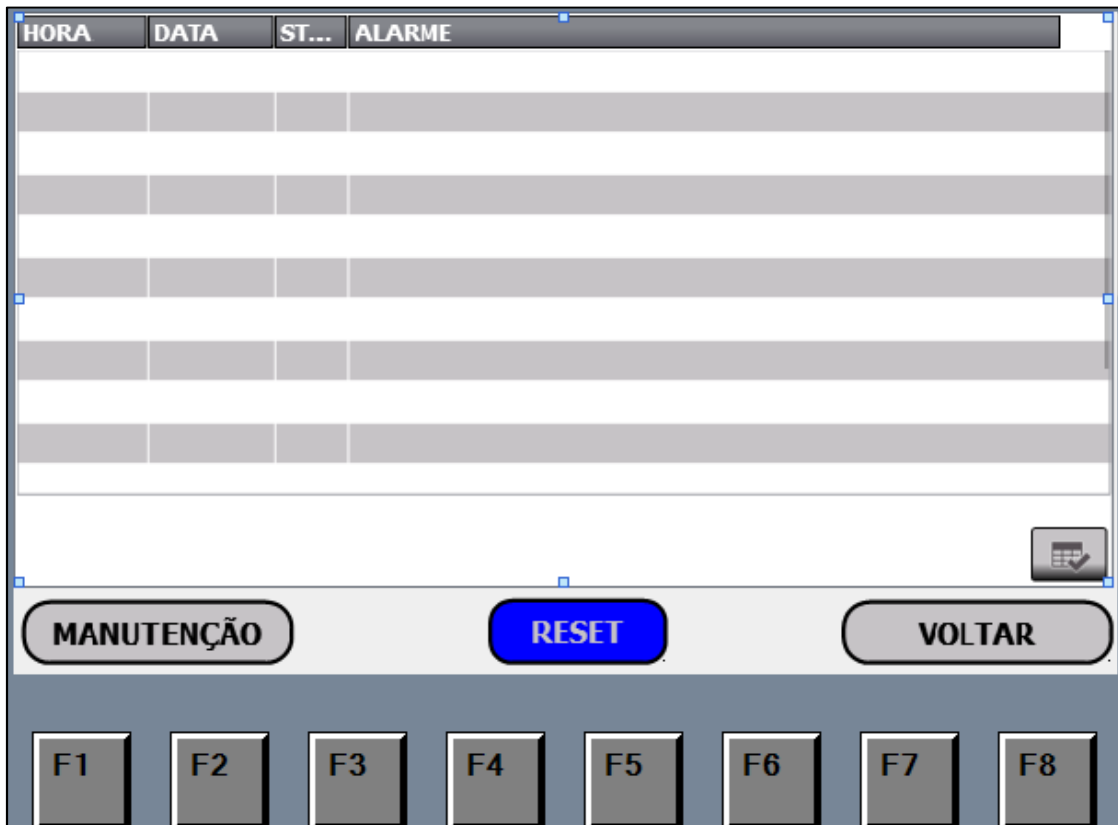
Fonte: Autor (2019).

A tela de temperatura foi desenvolvida pensando em ser aproveitada para outra máquina de corte solda similar no parque fabril, com o intuito de deixá-la cambiável, favorecendo o serviço de manutenção, dando flexibilidade e agilidade para a manutenção.

#### 4.4.5 Tela de alarmes

Para facilitar a identificação de problemas, foi elaborada uma tela de histórico de alarmes, conforme pode ser visto na Figura 59.

Figura 59 - Tela de alarmes



Fonte: Autor (2019).

Esta tela é acessível ao operador, servindo de auxílio para a identificação de problemas relacionados a operação ou falhas de funcionamento de máquina.

#### 4.4.6 Tela de Diagnóstico

Esta tela foi criada para facilitar o serviço de manutenção elétrica, disponibilizando para o técnico responsável o status de todas as entradas e saídas do CLP, além de identificar cada função de entrada ou saída.

Além das entradas e saídas, é possível visualizar a posição angular de cada encoder da máquina.

Na Figura 60 é possível visualizar a tela de diagnóstico.

Figura 60 - Tela de diagnósticos

INPUT		OUTPUT	
<input type="checkbox"/> ENCODER CABEÇOTE CHA	<input type="checkbox"/> 582 IONIZADOR	<b>ENCODER MP</b>	<b>000</b>
<input type="checkbox"/> ENCODER DESBO CHA	<input type="checkbox"/> 583 SKIP	<b>ENCODER DESBO</b>	<b>000</b>
<input type="checkbox"/> ENCODER DESBO CHB	<input type="checkbox"/> 584 PINGO DE SOLDA	<b>ENCODER PUX.</b>	<b>0000</b>
<input type="checkbox"/> ENCODER PUXADOR CHA	<input type="checkbox"/> 588 AR DE GUIA	<b>MEDIDA NA PARADA</b>	<b>000000</b> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> EMERGÊNCIA DA TORRE B4-B8	<input type="checkbox"/> 589 FACA PNEUMÁTICA		
<input type="checkbox"/> FIM DE CURSO/FALHA DESBO TANG	<input type="checkbox"/> 58A SOLDA POUCH		
<input type="checkbox"/> E0 FOTO CELULA	<input type="checkbox"/> 588 FURADOR		
<input type="checkbox"/> E1 FIM DE BOBINA	<input type="checkbox"/> PRE-SOLDA		
<input type="checkbox"/> E05 CICLO START / STOP	<input type="checkbox"/> 58C ALINHADOR		
<input type="checkbox"/> E03 EMERGÊNCIA MÁQUINA B3-B5	<input type="checkbox"/> 590 AQUECIMENTO Z1		
<input type="checkbox"/> E04 SENSOR PONTO ZERO	<input type="checkbox"/> 592 AQUECIMENTO Z2		
<input type="checkbox"/> FALHA MOTOR DO TORRE	<input type="checkbox"/> RESERVA		
<input type="checkbox"/> E06 SENSOR DE POSIÇÃO DOSBO	<input type="checkbox"/> SINAIS DE RESET		
<input type="checkbox"/> E08 MICRO DA PENTE	<input type="checkbox"/> 586 SINALIRO AMARELO E BUZER		
<input type="checkbox"/> E09 JOG DESBO	<input type="checkbox"/> SINALIRO VERMELHO		
<input type="checkbox"/> EA JOISTCK AVANCA	<input type="checkbox"/> SINALIRO VERDE		
<input type="checkbox"/> EB JOISTCK RECUA	<input type="checkbox"/> 594 FREIO DO MOTOR PRINCIPAL		
<input type="checkbox"/> EC GIRA MP	<input type="checkbox"/> HABILITA MOTOR PRINCIPAL		
<input type="checkbox"/> ED PARTE MÁQUINA	<input type="checkbox"/> HABILITA DESBOBINADOR		
<input type="checkbox"/> BOTÕES DE RESET	<input type="checkbox"/> HABILITA ESTEIRA		
<input type="checkbox"/> FALHA DO MOTOR PRINCIPAL	<input type="checkbox"/> HABILITA SERVO		
<input type="checkbox"/> FALHA DO MOTOR DA ESTEIRA	<input type="checkbox"/> STOP SERVO		
<input type="checkbox"/> FALHA DO MOTOR DESBOBIADOR	<input type="checkbox"/> INVERTE ROTAÇÃO DO SERVO		
<input type="checkbox"/> FALHA DO SERVO MOTOR			
<input type="checkbox"/> FALHA DO MOTOR DA TORRE			
<input type="checkbox"/> ALARME DE TEMPERATURA DA TORRE			
<input type="checkbox"/> ALARME TEMPERATURA ACESSÓRIOS			
<input type="checkbox"/> MICRO DA PONTE DA ESTEIRA			

**VOLTAR**

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

Fonte: Autor (2019).

#### 4.4.7 Tela de manutenção

A tela de manutenção é somente em nível de manutenção elétrica, podendo ser acessada somente através de senha de acesso, por conter parâmetros que passam valores diretamente para o código do programa.

Como exemplos, os valores de PID dos controles de temperatura, valores de alarme de desvio de temperatura, diâmetro do puxador, o qual deve ser ajustado cada vez que se faça retífica nos rolos do puxador, etc.

A tela de manutenção pode ser vista na Figura 61 antes e na Figura 62 é possível ver depois da implementação

Figura 61 - Tela de manutenção antes



Fonte: Autor (2019).

Figura 62 - Tela de manutenção depois



Fonte: Autor (2019).

## 4.5 Teste

Os acessórios foram sendo testados um a um, apenas habilitando sua função no painel de operação. Todos os acessórios funcionaram conforme o esperado, comprovando a atuação de cada um através dos dispositivos mecânicos ou pneumáticos.

Após testar a máquina em si, partiu-se para as rotinas de testes de repetibilidade do sistema, conforme as seções a seguir.

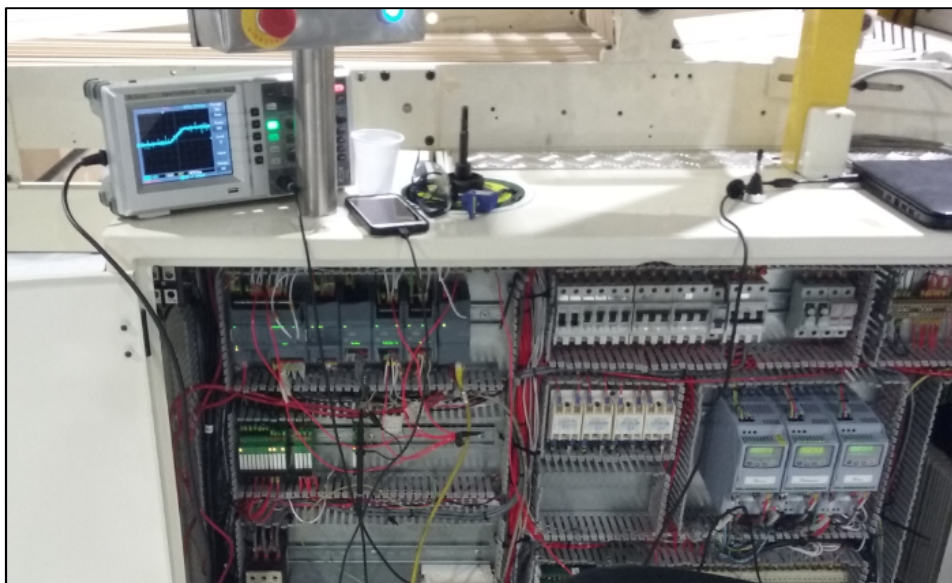
### 4.5.1 Testes preliminares

As implementações de programação tanto do CLP quanto da IHM foram sendo feitas em etapas setorizadas na máquina, com o intuito de possibilitar um pré-teste a cada conclusão de programação, minimizando e isolando erros de programação em cada etapa.

Para a implementação da lógica envolvendo o encoder, foram realizados diversos testes para validação, ligando o motor principal e lendo com um osciloscópio as formas de onda de cada canal do encoder.

Também foi possível testar a implementação da rampa de aceleração do puxador, conforme a Figura 63, com o auxílio do osciloscópio comprovou-se o funcionamento da rampa.

Figura 63 - Teste da rampa da puxada



Fonte: Autor (2019).

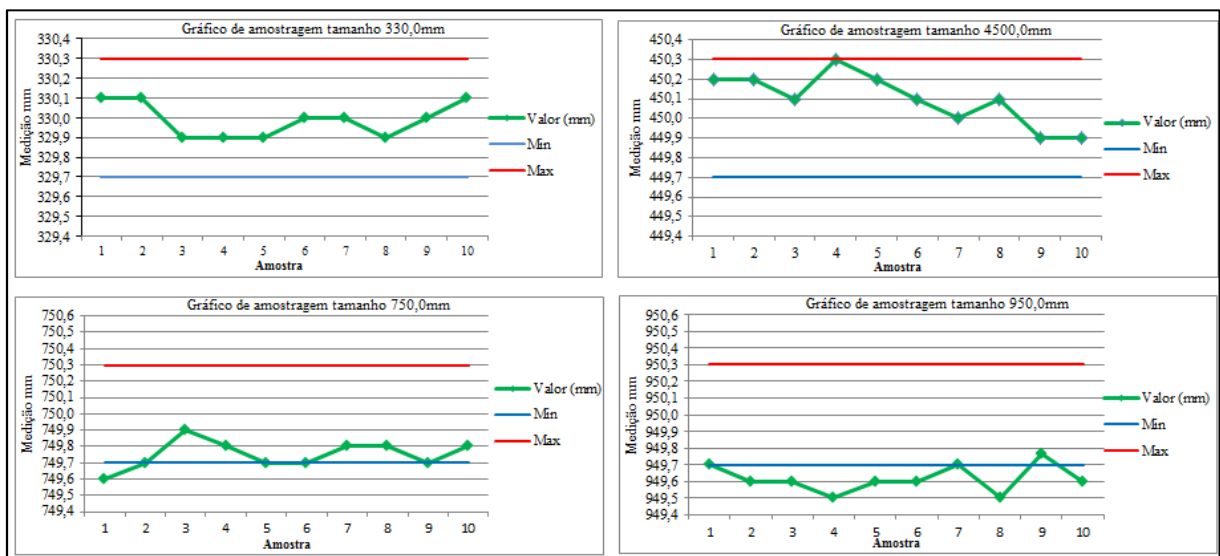
#### 4.5.2 Teste puxada sem fotocélula

Após concluídas todas as etapas de programação do CLP e IHM, o primeiro teste foi realizado com filme liso, assim chamados os filmes plásticos sem impressão, pois neste tipo de material não se usa o recurso de fotocélula.

O intuito deste teste era verificar o tamanho da puxada em relação ao tamanho programado e ter certeza que o tamanho da puxada não variasse em um período longo de produção.

Foi rodada a máquina por aproximadamente vinte minutos, coletado amostras de sequencias de 10 embalagens a cada 5 minutos, cada intervalo com uma medida programada diferente, a fim de verificar a repetibilidade no tamanho da embalagem, conforme Figura 64.

Figura 64 - Gráfico de medição de puxadas sem fotocélula



Fonte: Autor (2019).

Através das amostragens, conforme pode ser observado no Gráfico 64, verificou-se que a repetibilidade para o valor de comprimento de puxada de 330,0 mm ficou com as amostragens dentro das faixas de tolerância de mínimo e máximo, da mesma forma para a puxada de tamanho 450,0 mm.

Já para as puxadas de 750,0 mm e 950,0 mm, as amostragens apresentaram uma tendência de medida abaixo da tolerância mínima.

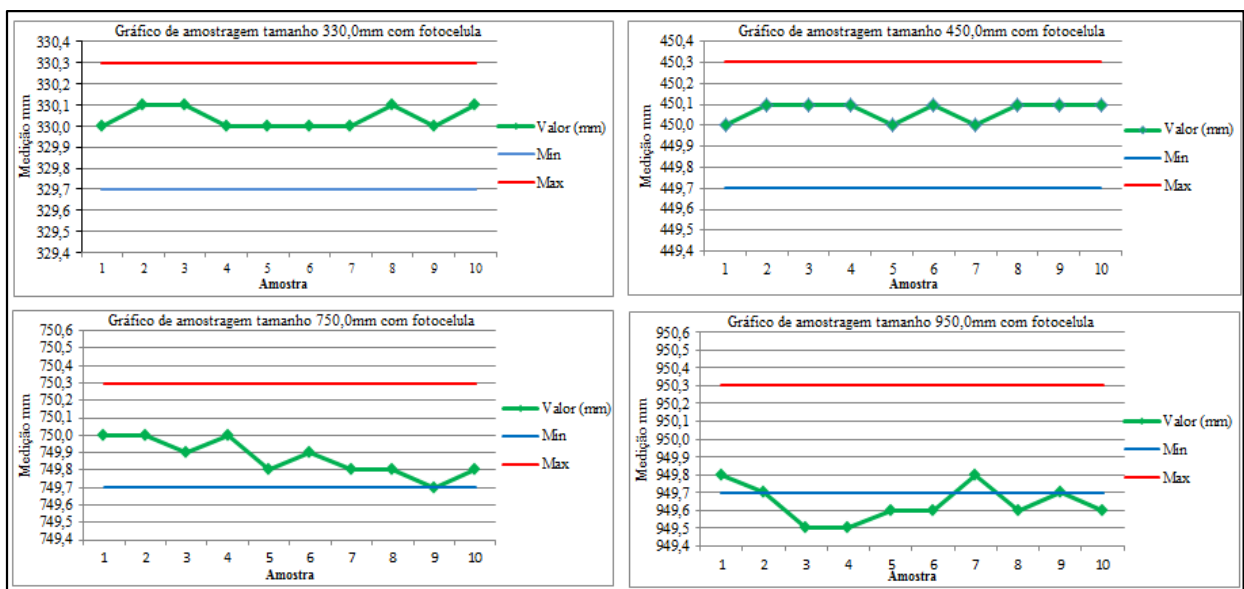
Analisando a situação, de termos um uma boa repetibilidades em todas as amostras, conclui-se que nas puxadas de tamanho maior ocorre uma pequena diminuição do tamanho real em relação ao programado.

#### 4.5.3 Testes com fotocélula

O teste com fotocélula foi realizado usando a mesma metodologia de amostragem do teste anterior, porém neste teste foi usado filme plástico impresso, onde se faz necessário o uso da função fotocélula.

Na Figura 65 podem ser observados os valores encontrados nas amostras.

Figura 65 - Gráfico de medição de puxada com fotocélula



Fonte: Autor (2019).

Analisando os valores encontrados na medição, percebeu-se que nas duas medidas menores, a precisão nas amostras foi melhor que nas amostras sem fotocélula, comprovando o funcionamento da função de detecção e atuação de marca de fotocélula.

Já para as amostras de maior tamanho, percebeu-se que não mudou o comportamento de repetibilidade, porém com uma redução do tamanho real em relação ao programado.



#### 4.5.4 Teste de temperatura

Antes de colocar para funcionar os controladores, foram colocados para fazer o *pré-tuning*, e o *auto tuning*, recurso do Tia Portal que faz o auto ajuste dos valores do PID dos controles de temperatura para o melhor funcionamento.

Após a realização do *auto tuning*, foi programado valor de temperatura para trabalho, em torno de 250°C.

Para realizar a soldagem do filme plástico com qualidade e resistência é importante aguardar que a temperatura chegue no valor programado e que a mesma se mantenha com um desvio de +5°C e -5°C.

Uma melhoria feita em relação ao controle de temperatura foi o alarme de desvio de temperatura, caso a mesma atinja valores a cima ou abaixo do desvio programado na tela de manutenção.

#### 4.5.5 Ajustes finais

Conforme os resultados encontrados nos testes de puxada, foi possível avaliar que devido a embalagem ir perdendo tamanho para menos em relação ao tamanho programado nas puxadas de maior comprimento, é que a o nível de sinal analógico está baixo para o servomotor puxar o material no tempo disponível de cabeçote aberto que corresponde de 0° a 180° angular.

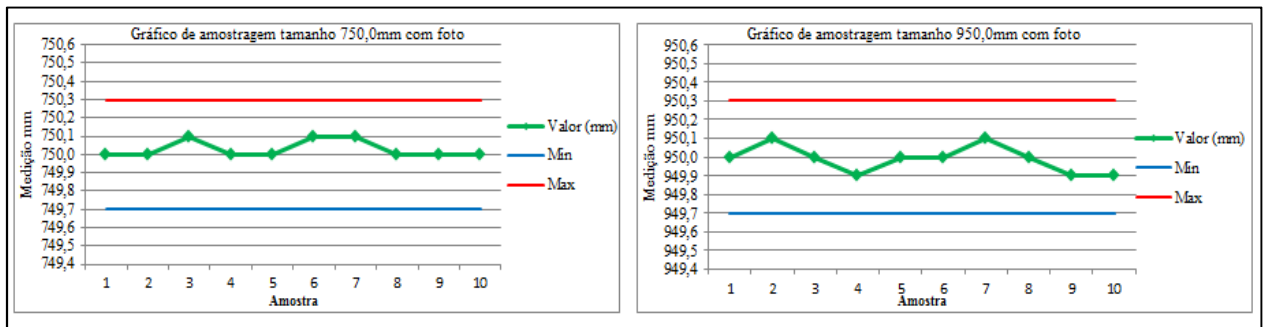
Para ajustar o imprevisto, foi alterado o código da equação no CLP que calcula o nível do sinal analógico para o servomotor,

Feitos os ajustes necessários, usou-se o mesmo método anterior de amostragem para testar a puxada usando o recurso da fotocélula, sabendo que se funcionar com a fotocélula, funcionará também sem.

Na Figura 66 é possível verificar o gráfico com os valores obtidos após os ajustes.



Figura 66 - Gráfico de medição de puxada com fotocélula



Fonte: Autor (2019).

Analizando os dados coletados conforme indicado no Gráfico 66, e visto que o ajuste surtiu, comprova-se que o sinal de amplitude analógico do servomotor estava baixo para a janela de tempo que correspondia ao tempo de cabeçote aberto.

#### 4.6 Sistema de segurança

Para não inviabilizar ou dificultar os testes anteriores, o sistema de segurança ficou desativado até a conclusão de funcionamento dos testes de rodagem de máquina.

Após comprovado o funcionamento da máquina, foi iniciado os testes e ajustes de funcionalidade de segurança.

Como a máquina apresenta característica inercial, foi necessária utilização de intertravamento com chaves magnéticas e sensores indutivos apropriados a NR12. A funcionalidade deste sistema consiste em somente liberar o acesso pela chave magnética quando a máquina estiver apresentando movimento zero, isso acontece quando um sensor indutivo detecta ausência de movimento na parte móvel.

Com os resultados obtidos nos testes, a máquina encontra-se em condições operacionais e de qualidade e segurança, podendo ser liberada para regime de produção.

#### 4.7 Investimento

Os investimentos foram divididos em duas partes, uma da troca do controlador da máquina conforme delimitações deste trabalho e outra na reforma do painel.

Na parte com os itens de um a cinco da Tabela 9 foram aproveitados do estoque, os valores são da data Junho de 2018 quando adquiridos para estoque.

Tabela 9 - Tabela de custos de investimento

Tabela de investimento para troca do controlador Máquina Corte Solda				
Item	Descrição	Qnt	valor Unit	Valor Tot
1	CLP S7 1200 CPU1214FC Siemens	1	R\$ 2.950,00	R\$ 2.950,00
2	Modulo Entrada Analógico SM 1231 Siemens	1	R\$ 1.130,00	R\$ 1.130,00
3	Módulo de Saída Analógica SM 1231 Siemens	1	R\$ 2.680,00	R\$ 2.680,00
4	Módulo de Entrada Digital SM 1221 Siemens	1	R\$ 2.115,00	R\$ 2.115,00
5	Módulo de Saída Digital SM 1222 Siemens	1	R\$ 1.286,00	R\$ 1.286,00
6	IHM KTP 700 basic Siemens	1	R\$ 6.803,00	R\$ 6.803,00
7	Total Geral			R\$ 16.964,00

Fonte: Autor (2019).

Os valores de mão de obra para a realização do projeto não foram citados no custo por questões políticas da empresa, por não ter incluído ou contabilizado a execução do projeto como custos, por se tratar de um trabalho acadêmico, onde boa parte do projeto ter sido feita em horário extra expediente.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a implementação de um sistema de automação para uma máquina de corte e solda de filme plástico, realizado em conjunto com a equipe de manutenção elétrica da Empresa Plastrela Indústria e Comércio de Embalagens LTDA. O principal objetivo contemplou a substituição do hardware dedicado atual por um de uso comercial, disponível para compra no mercado, bem como a elaboração de um novo código para o sistema proposto.

Tal substituição foi proposta porque o Controlador estava descontinuado, restringindo as possibilidades de melhoria em virtude da obsolescência da tecnologia empregada, bem como dificultando a obtenção de assistência técnica. Além disso, em estudo realizado com as equipes de operação e manutenção, definiu-se uma série de recursos que facilitariam a utilização do sistema, proporcionando eficiência e segurança.

Os testes de funcionalidade apresentaram funcionamento satisfatório e facilidade de adaptação por parte dos operadores. Os testes de produção para comprovar o desempenho da máquina foram feitos com filme impresso comprovando o controle do tamanho da puxada e o funcionamento de posicionamento com o recurso da fotocélula. Neste teste foi observado que o desvio ficou na faixa de +1 mm e -1 mm, atendendo os padrões de qualidade exigidas. Da mesma forma, os controles de temperatura apresentaram um desvio de +3°C e -3°C, adequado aos padrões de soldabilidade do filme plástico.

Para comprovar e avaliar o desempenho do novo sistema de automação da máquina, assim como a satisfação do operador, e envolvidos no processo, foi feita uma pesquisa de satisfação através de um formulário conforme Apêndice A. Através deste formulário os entrevistados pontuaram questões relevantes do projeto com nota de 1 a 10. A Tabela 10 a

seguir representa a média dos resultados obtidos, comprovando a satisfação dos envolvidos e permitindo assim identificar novos pontos de melhoria para os projetos futuros.

Tabela 10 - Tabela de avaliação do novo sistema de automação

Avaliação de desempenho de melhoria do novo sistema de automação da máquina de corte e solda											
		Média dos resultados									
	Itens Avaliados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mudanças nas funções operacionais, como busca foto, função manual, e outros.									x	
2	Telas de operação, e informações das telas										x
3	Facilidade de operação								x		
4	Adaptação ao novo sistema								x		
5	Sistema de segurança										x

Fonte: Autor (2019).

Após alguns itens acompanhados em máquina, percebeu-se que o balancim de alimentação do filme plástico pode ser um limitador de produção, nos filmes mais largos e mais espessos, onde exige mais força e o balancim chega a bater nos limitadores. Sugeriram-se melhorias estruturais neste dispositivo.

Percebeu-se como possibilidade de melhoria a implementação de telas de gestão, com gráficos de registro de variáveis importantes para rastreios de qualidade de produto, que vem de encontro com a gestão da ISO 9000, além de criar mecanismos de validação de conferências por analistas do controle de qualidade.

Após a validação do sistema implementado, a empresa sugeriu replicar a solução desenvolvida para outras máquinas que se encontram na mesma situação. Por fim, comprovado o funcionamento e as melhorias na máquina, o investimento para a implementação com recursos internos da empresa foi considerado viável. Em virtude dos fatos mencionados, conclui-se que os objetivos propostos por este trabalho foram atingidos a contento e as melhorias sugeridas irão agregar ainda mais valor ao sistema desenvolvido.

## REFERÊNCIAS

ABIEF. **Associação Brasileira da indústria de embalagens plásticas flexíveis**. Disponível em: <<http://abief.com.br/noticia/22>>. Acessado em: 03 jan. 2019.

ABIPLAST. Associação Brasileira da indústria do plástico. **Conceitos básicos sobre matérias plásticas**. Disponível em: <[http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais\\_plasticos\\_para\\_site\\_vf\\_2.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais_plasticos_para_site_vf_2.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ABRE. Associação Brasileira de Embalagens. **Cenário positivo para indústria de embalagens**. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/noticias/cenario-e-positivo-para-industria-de-embalagens-flexiveis-em-2018/>>. Acessado em: 03 jan. 2019

ALVES, R. M. V. et al. **Ensaio para Avaliação de Embalagens Plásticas Rígidas**. Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA, Campinas, 1998

BALLUFF. Controles elétricos LTDA. **Inductive sensor**. 06 set. 2018. Disponível em: <<https://www.balluff.com/local/br/products/sensors/inductive-sensors/>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BATTASSINI. **IHMS – Interface homem máquina**. Disponível em: <<http://www.battassini.com.br/servicos/ihms-interface-homem-maquina>>. 2018. Acesso em: 24 abr. 2019.

BEGA, E. A. et al. **Instrumentação Industrial**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência LTDA., 2006.

BEGA, E. A. **Instrumentação aplicada ao controle industrial**. Rio de Janeiro: Interciência. 2010.

BOLTON, W. **IEC 61131-3: Programmable Logic Controllers**. 4ª.ed. Oxford: Editora Elsevier, 2007.

CAMP CONTROLES. **Cabos de compensação**. Disponível em: <<http://www.campcontroles.com.br/produto-page.php?id=49&uri=cabos-de-compensacao>>. 2017. Acesso em: 02 abr. 2019.

CAPELLI, A. Automação Industrial: **Controle do Movimento e Processos Contínuos**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2007.

COMP-CONTROLES. **Cabos de compensação**. Disponível em: <<http://www.campcontroles.com.br/produto-page.php?id=49&uri=cabos-de-compensacao> .> 2017 - Acesso em: 02 mai. 2019.

COOMBS, C. F. Jr. **Electronic Instrument Handbook**. 3ª.ed., Editora McGraw-Hill, 2000.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. **Polímeros**, 13, p.1, 2003.

CR RESISTÊNCIAS. **Termopares**. Disponível em: <<http://cr-resistencias.com.br/produtosDetalhe.asp?idProduto=140>>. 2010. Acesso em: 02 mai. 2019.

DAL BÓ, M. **Polímeros**, v. 21, n. 4, p. 335-339, 2011.

DUNN, W. C. **Fundamentos de instrumentação industrial e controle de processos**. Rio de Janeiro: Bookman, 2013.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C.; KUSKO, A. **Maquinas elétricas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

FRADEN, J. Handbook of Modern Sensors – **Physics, Designs and Applications**. 3ª. ed. New York: Editora LLC, 2004.

FRANCHI, Claiton M. **Controle de Processos Industriais – Princípios e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2011.

\_\_\_\_\_. **Acionamentos elétricos**. 2ª ed. São Paulo: Erica, 2009.

FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Apostila de Automação Industrial: Sensores**. 2005. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/fuentes/index\\_arquivos/CA03.pdf](http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA03.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2019.

GOZZI, G. G. M.; PAREDE, T. M. S.; HORTA, E. **Eletrônica Máquinas e Instalações Elétricas**. São Paulo, Fundação Padre Anchieta, 2011.

HECE. **SC-500 II máquina para corte e solda**. Disponível em:<<http://hece.com.br/productos/sc-500-ii> ->.2016. Acesso em: 02 abr. 2019.

HI TECNOLOGIA. **Automação industrial**.01 nov. 2017. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>>. 2017. Acesso em: 02 mai. 2019.

IZES. **Embalagens de café do Brasil no futuro**. Disponível em: <<https://izes.com.br/embalagens-de-cafe-do-brasil-no-futuro/>>.2018. Acesso em: 02 abr. 2019.

JOHN, K.; TIEGELKAMP, M. **IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems**. 1. ed. Berlin: Editora Springer-Verlag, 2001.

KOLLMORGEN. **Servomotores**. Disponível em: <<https://www.kollmorgen.com/pt-br/products/motors/servo/servo-motores/>> Acesso em: 08 abr. 2019.

KMA BRASIL. **Inversores de frequência WEG monofásico**. 24 mai. 2016. Disponível em: <https://www.kmabrasil.com.br/produto/inversores-de-frequencia-weg/monofasicos-127vtrifasicos-220v/746-inversor-de-frequencia-cfw300-1cv-ent-mono-127v-saida-trifasico-220v-weg-13059268>. 2016. Acesso em: 25. abr. 2019.

MAZZAROPPI, M. Sensores de movimento e presença. **Monografia**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

MECAWEB. Education Site. **Sensor ótico**. Disponível em: <[http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e\\_sensor\\_optico](http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_sensor_optico)>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MOOG. **Compact dynamic brushless servo motor**. Disponível em: <<https://www.moog.com/products/motors-servomotors/servo-motors/compact-dynamic-brushless-servo-motor.html>>. 2008. Acesso em: 21 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Servomotores Brushless**. Disponível em: <<https://www.moog.com.br/content/sites/brasil/pt/produtos/servomotores-brushless.html#>>. 2013. Acesso em: 21 jan. 2019.

MORAES, C. C. de.; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de Automação Industrial**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. 4ª edição. Porto Alegre, AMGH, 2013.

PIRES, J. N. **Automação Industrial**. 3. ed. Lisboa: ETEP, 2007

QUALITY-UP. **Termopares e Sensores PT-100**. Disponível em: <<http://qualityup.com.br/new/termopares-sensores.php> - >. 2015. Acesso em: 02 abr. 2019.

RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência - Circuitos, Dispositivos e Aplicações**. Ed. São Paulo: Makron Books, 1999.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

\_\_\_\_\_. **Princípios da Mecatrônica**. 1ª Ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

SACOMANO, J. B. **Industria 4.0: Conceitos e Fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SAEED, B. N. Introdução à Robótica: **Análise, Controle, Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013

SEW-EURODRIVE. **Highly Dynamic DC Brushless servo motor maxonsec i40**. 18 jul. 2014. Disponível em: < <https://electromate.wordpress.com/2014/07/18/highly-dynamic-dc-brushless-servo-motor-maxons-ec-i40/>> . Acesso em: 23 mai. 2019.

SILVEIRA, P. R. da.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. Editora Erica, São Paulo, 1998.

SIEMENS, 2019. **Siemens logo 82 logic module 115v AC DC 230v AC**. 14 abr. 2018. Disponível em: < <https://br.rsdelivers.com/product/siemens/6ed1052-1fb08-0ba0/siemens-logo-82-logic-module-115-v-ac-dc-230-v-ac/1653224> >- Acesso em: 01 mai.2019.

SIMPLÁS. Sindicato das indústrias de material plástico do Nordeste do Rio Grande do Sul. **Iniciativa discutir a importância do plástico na qualidade de vida das pessoas**. Disponível em: <<https://www.simplas.com.br/imprensa/noticias-simplas/iniciativa-discutira-a-importancia-do-plastico-na-qualidade-de-vida-das-pessoas.html>>. 2016. Acesso em: 12. abr. 2019.

SINDIPLAST. **Os plásticos**. Disponível em: <<http://www.sindiplast.org.br/os-plasticos/>>. Acesso em: 12 abr. 2019

SKOOG, D. A. et al. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ª. ed., Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.

SMAR. **Marketing**. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index235.html>>. Acesso em:26 abr. 2019.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: McGraw Hill Brasil, 2012.

TECHTUDO. **Sinal analógico ou digital e suas diferenças**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/12/sinal-analogico-ou-digital-entenda-tecnologias-e-suas-diferencas.html>. > 2014. Acesso em: 02 abr. 2019.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. 3ª. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2007

\_\_\_\_\_. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Erica, 2007.

WEBB, J. W.; REIS, R. A. *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications*. 5ª. ed. Ohio: PEARSON Prentice Hall, 2003.

WEG. Guia de aplicação de servoacionamentos. **Catálogos WEG**. Jaraguá do Sul, 2011.

\_\_\_\_\_. Automação: Servoconversor SCA06-Servomotor SWA. **Catálogos WEG**, 2012



## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – PESQUISA DE MELHORIA DO NOVO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO



Avaliação de desempenho de melhoria do novo sistema de automação da máquina de corte e solda

	Itens Avaliados									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mudanças nas funções operacionais, como busca foto, função manual, e outros.									
2	Telas de operação, e informações das telas									
3	Facilidade de operação									
4	Adaptação ao novo sistema									
5	Sistema de segurança									

Avalie o desempenho da máquina que foi implementado o novo sistema de automação:  
Marque a pontuação que você julgar, baseando-se no sistema antigo e comparando com o novo sistema de automação  
A pontuação de 1 a 10, sendo que 5 ficou igual o que era antes, a baixo de 5 pior e a cima melhor

Nome do funcionário

Assinatura



**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09